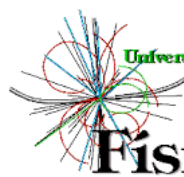




FACULTAD DE
CIENCIAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID



Universidad Autónoma de Madrid

Departamento de
Física Teórica

UN SONDEO ESPECTROSCÓPICO DE ESTRELLAS O GALÁCTICAS

ALFREDO SOTA BALLANO

DIRECTOR: JESÚS MAÍZ APELLÁNIZ
TUTORA ACADÉMICA: ÁNGELES DÍAZ BELTRÁN

MADRID, 2018

Resumen de la tesis doctoral de D. Alfredo Sota

“UN SONDEO ESPECTROSCÓPICO DE ESTRELLAS O GALÁCTICAS”

Los catálogos de clasificaciones espectrales de estrellas masivas que recopilan sus datos de diferentes fuentes, muestran una gran disparidad en las clasificaciones que contienen. Algunas de las discrepancias se deben a las diferentes resoluciones espectrales o relaciones señal-ruido (S/N), otras a la variabilidad en las estrellas (siendo las binarias espectroscópicas las principales culpables), y otros a errores o diferencias entre los clasificadores. Para corregir esta situación, nació en 2007 la idea del sondeo espectroscópico de estrellas O Galácticas (GOSSS). GOSSS es un sondeo en el que se pretenden observar todas las estrellas O galácticas conocidas para crear la mayor base de datos espectroscópica en el azul-violeta (3900-5100 Å) de este tipo de estrellas observables visualmente ($B < 14$) utilizando una resolución espectral intermedia ($R \sim 2500$), una alta S/N (≥ 300), y obteniendo datos de una calidad uniforme. El sondeo empezó sus observaciones partiendo inicialmente de las estrellas contenidas en la segunda versión del catálogo de estrellas O Galácticas (GOSC) y desde el comienzo del proyecto hasta la presentación de esta tesis, se han observado más de 400 noches en 4 observatorios diferentes. Como parte de esta tesis se han observado 449 estrellas dentro del programa GOSSS cuyas clasificaciones han sido incorporadas a la versión 3 de GOSC. A su vez, se ha creado un atlas de estrellas O Galácticas que ha supuesto un gran avance con respecto a los existentes debido a la calidad y uniformidad de los espectros, así como de su completitud. Algunos de los resultados notables relacionados con GOSSS son los siguientes: Se revisan los criterios de clasificación para los tipos entre O8 y B0 con indicadores más precisos que los usados en trabajos anteriores y se amplía a todas las clases de luminosidad el tipo O9.7 (anteriormente solo se clasificaban las clases mayores de III). Se introduce la nueva categoría espectral Ofc y el tipo espectral O9.2. Se introducen criterios uniformes para la definición de los fenómenos f y z. Se descubren dos nuevos miembros de la categoría Of?p y bastantes binarias espectroscópicas no detectadas hasta ahora. Todos estos elementos también han servido para afrontar estudios tan diversos como las leyes de extinción en el óptico e infrarrojo y la multiplicidad de estrellas masivas y servirán para afrontar otros como la distribución espacial de las estrellas masivas o el límite de la IMF (función de masas iniciales) en la vecindad solar. Los resultados mencionados se han publicado en los dos artículos principales que componen la base de esta tesis, que en conjunto acumulan más de 200 citas en ADS (Astrophysics Data System).

Agradecimientos:

Indice

| | |
|--|-----|
| 1. Introducción | |
| 1.1 Antecedentes y estado actual del tema | 7 |
| 1.2 Objetivos de la investigación | 8 |
| 1.3 Metodología | 8 |
| 1.4 Resultados | 9 |
| 2. Clasificación espectral de estrellas O | 10 |
| 2.1 Desarrollo de la espectroscopía estelar | 10 |
| 2.2 Orígenes de la clasificación espectral | 12 |
| 2.3 El sistema Draper | 14 |
| 2.4 El sistema Harvard | 15 |
| 2.5 El sistema Yerkes | 18 |
| 2.6 Determinación de temperaturas en espectros estelares | 20 |
| 2.7 Clasificación de estrellas O: tipos espectrales | 22 |
| 2.8 Clasificación de estrellas O: clases de luminosidad | 30 |
| 2.9 Catálogos de estrellas O | 34 |
| 3. El catálogo de estrellas O Galácticas (GOSC) | 35 |
| 4. El sondeo de estrellas O Galácticas (GOSSS) | 38 |
| 4.1 Introducción | 38 |
| 4.2 Descripción del sondeo. Datos y métodos. | 40 |
| 4.2.1 Espectroscopía azul-violeta con $R \sim 2500$ | 40 |
| 4.2.2 Datos complementarios y nomenclatura | 43 |
| 4.2.3 Binarias Espectroscópicas | 44 |
| 4.2.4 Binarias visuales | 44 |
| 4.2.5 Distancias y catálogo | 45 |
| 4.2.6 Metodología de la clasificación espectral | 46 |
| 4.3 Resultados | 48 |
| 4.3.1 Atlas y desarrollos | 48 |
| 4.3.1.1 Criterios O8-Bo | 64 |
| 4.3.1.2 Criterios de luminosidad | 65 |
| 4.3.1.3 Estrellas Ofc | 66 |
| 4.3.1.4 El subtipo espectral o9.2 | 66 |
| 4.3.2 Categorías peculiares | 72 |
| 4.3.2.1 Estrellas Ofc | 72 |
| 4.3.2.2 Estrellas ON/OC | 77 |
| 4.3.2.3 Estrellas Onfp | 82 |
| 4.3.2.4 Estrellas Of?p | 86 |
| 4.3.2.5 Estrellas Oe | 88 |
| 4.3.2.6 Estrellas tempranas Of/WN | 90 |
| 4.3.2.7 Estrellas O Iafpe | 92 |
| 4.3.2.8 Binarias espectroscópicas dobles y triples | 94 |
| 4.3.3 Muestra normal | 117 |

| | |
|---|-----|
| 4.4 Análisis | 181 |
| 4.4.1 Selección de la muestra y completitud | 181 |
| 4.4.2 Distribuciones espacial y por magnitud | 183 |
| 4.4.3 Estadísticas de clasificación espectral | 186 |
| 4.4.4 Multiplicidad | 187 |
| 4.4.4.1 Muestra | 187 |
| 4.4.4.2 Estadísticas de multiplicidad. | 188 |
| 4.5 Sumario | 191 |
| 5. Referencias | 192 |
| 6. Apéndice: reducción de datos | 200 |

1. Introducción

1.1. Antecedentes y estado actual del tema

Las estrellas de tipo O juegan un papel crucial en la evolución dinámica y química de las galaxias. Son la principal fuente de radiación ionizante y ultravioleta y, a través de sus enormes tasas de pérdida de masa, tienen un fuerte impacto mecánico en su entorno. Son también importantes debido a que las reacciones nucleares en su interior crean la mayoría de los elementos químicos más pesados. Estos productos nucleares son esparcidos en el espacio durante las explosiones de supernova en las que finalizan sus vidas. A pesar de su importancia, el conocimiento de estos objetos y de su evolución sigue siendo fragmentario debido a su relativo pequeño número, la gran extinción media causada por su concentración en el plano Galáctico y los sistemas múltiples ocultos o mal estudiados. Los parámetros principales que determinan la evolución de una estrella masiva son su masa (como para cualquier estrella en el diagrama HR), su tasa de pérdida de masa (a través de la metalicidad), la presencia de estrellas compañeras cercanas y la velocidad de rotación.

Para poder emprender estudios generales y estadísticos sobre estrellas masivas es necesaria la utilización de catálogos y atlas completos y precisos. Hasta hace poco tiempo, existían varios catálogos de estrellas O, como los de Morgan et al. (1955), Hiltner (1956), y Lesh (1968) que proporcionan clasificaciones originales y precisas para estrellas de la parte Norte del cielo ($\delta > -20^\circ$) y los de Hiltner et al. (1969) y Garrison et al. (1977) para las de la parte Sur. Estos catálogos están lejos de ser completos y sus clasificaciones se hicieron antes de introducir los tipos espectrales O3 y O2 por N. Walborn en 1971 y 2002 respectivamente. Posteriormente se publicaron catálogos con más estrellas, como los de Goy (1980) y Garmany et al. (1982), con 970 y 765 estrellas O respectivamente. Estos catálogos se construyeron compilando clasificaciones espectrales de muy diferentes fuentes, y aunque se incrementa notablemente en número de estrellas con respecto a los catálogos anteriores, siguen sin ser completos ni uniformes (en el catálogo de Goy hay múltiples clasificaciones espectrales para muchas de sus estrellas y en el de Garmany et al. hay bastantes estrellas que no tienen clase de luminosidad). El catálogo de estrellas O Galácticas más completo hasta la fecha es el catálogo GOSC de Maíz Apellániz et al. (2004), que en su última versión (3.2.2) contiene clasificaciones originales y precisas de 590 estrellas O Galácticas. Este catálogo es prácticamente completo para $V < 8$, pero contiene algunas estrellas más débiles de ese límite. En las próximas revisiones de este catálogo se pretende llegar a clasificar más de 1500 estrellas O. El catálogo está disponible en la siguiente dirección: <http://gosc.iaa.es/>

Los atlas de espectrogramas digitales de estrellas O publicados anteriormente a este trabajo (por ejemplo, Walborn y Fitzpatrick 1990, 2000; Walborn et al 2002), aunque detallados y completos en términos de cobertura de tipo espectral, están lejos de ser exhaustivos, ya que solo contienen menos de 100 estrellas O en total. Por otra parte, estos atlas no contienen estrellas del Norte y la calidad de sus datos puede mejorarse significativamente con los modernos detectores CCD.

1.2. Objetivos de la investigación

El objetivo principal del proyecto ha consistido en crear la base de datos de espectros de estrellas O Galácticas más completa hasta la fecha, y cuyos resultados se han publicado en tres artículos (Sota et al. 2011 y 2014, y Maíz Apellániz et al. 2016). Los dos primeros artículos (a partir de ahora se denominan artículo I y artículo II) representan la base de esta tesis. Para ello ha sido necesario disponer de un catálogo de estrellas masivas lo más completo y actualizado posible. Este catálogo es la ampliación de GOSC en su versión 2 (Sota et al. 2008) y se describe más adelante. Una vez que se hayan observado todas las estrellas del catálogo, será posible revisar todas las clasificaciones espectrales e incrementar notablemente la precisión y utilidad del catálogo.

1.3. Metodología

[1] Ampliación del catálogo de estrellas O Galácticas. El catálogo de estrellas O Galácticas (GOSC v1) de Maíz Apellániz et al. (2004) contiene casi 400 estrellas y es prácticamente completo para $V < 8$. En la primera etapa del proyecto se ha ampliado ese catálogo con todas las estrellas O conocidas que existen en la literatura y se van añadiendo en actualizaciones periódicas las nuevas estrellas O que se van descubriendo. Para cada estrella se revisa la precisión de todos los datos disponibles (astrometría, fotometría, ...).

[2] Observaciones de las estrellas del catálogo. La versión 2 de GOSC (Sota et al., 2008) contiene más de mil estrellas que en algún momento se han clasificado como estrellas O y se pretende observar todas para actualizar sus clasificaciones espectrales (descartar las erróneas, corregir las incompletas, ...). Para poder observarlas todas se requieren cientos de noches de observación que se están realizando a lo largo de varios años. Desde el hemisferio Norte, las observaciones se realizan desde los observatorios de Sierra Nevada, Calar Alto y el Roque de los Muchachos (con los telescopios WHT y GTC) y desde el hemisferio Sur, desde el observatorio de Las Campanas.

[3] Reducción de los datos. Dada la ingente cantidad de espectros que se obtienen en las múltiples campañas de observación, se ha desarrollado un datoducto para la reducción de los datos del proyecto. El software ejecuta de una manera automática o semiautomática todos los pasos en el proceso de reducción y controla en cada paso la calidad de los espectros producidos.

[4] Clasificación y análisis de los datos. Con cientos de espectros de estrellas O de gran calidad y uniformidad disponibles, se han seleccionado varios espectros representativos de cada tipo espectral para la creación de un atlas que reemplaza a los existentes (Sota et al. 2011, Maíz Apellániz et al. 2014). Este atlas es usado por el software MGB (Maíz Apellániz et al. 2014) para clasificar con gran precisión todos los espectros obtenidos en el proyecto. Estos espectros son finalmente añadidos al catálogo GOSC con clasificaciones confirmadas y precisas.

1.4. Resultados

El sondeo espectroscópico de estrellas O Galácticas (GOSSS) es un sondeo en el que se pretenden observar todas las estrellas O Galácticas conocidas para crear la mayor base de datos espectroscópica en el azul-violeta (3900-5100 Å) de este tipo de estrellas observables visualmente ($B < 14$) utilizando una resolución espectral intermedia ($R \sim 2500$), una alta S/R (≥ 300), y obteniendo datos de una calidad uniforme. El sondeo empezó sus observaciones partiendo inicialmente de las estrellas contenidas en la segunda versión de GOSC. Como parte de esta tesis se han observado 449 estrellas dentro del programa GOSSS cuyas clasificaciones han sido incorporadas a la versión 3 de GOSC. A su vez, se ha creado un atlas de estrellas O Galácticas que ha supuesto un gran avance con respecto a los existentes debido a la calidad y uniformidad de los espectros, así como de su completitud. El desarrollo de catálogos y atlas similares al de este proyecto siempre ha llevado en el pasado a nuevos descubrimientos en la morfología de los espectros observados. Estos descubrimientos han producido cambios en los criterios de clasificación y avances significativos en el entendimiento de los principios físicos subyacentes en comparación con modelos de atmósferas estelares. Algunos de los resultados notables relacionados con GOSSS y que se describen en más detalle en secciones posteriores son los siguientes: Se revisan los criterios de clasificación para los tipos entre O8 y B0 con indicadores más precisos que los usados en trabajos anteriores y se amplía a todas las clases de luminosidad el tipo O9.7 (anteriormente solo se clasificaban las clases mayores de III). Se introduce la nueva categorial espectral Ofc y el tipo espectral O9.2. Se introducen criterios uniformes para la definición de los fenómenos f y z. Se descubren dos nuevos miembros de la categoría Of?p y bastantes binarias espectroscópicas no detectadas hasta ahora. Todos estos elementos también han servido para afrontar estudios tan diversos como las leyes de extinción en el óptico e infrarrojo (Maíz Apellániz 2014) y la multiplicidad de estrellas masivas (Sota et al. 2014) y servirán para afrontar otros como la distribución espacial de las estrellas masivas o el límite de la IMF (función de masas iniciales) en la vecindad solar.

2. Clasificación espectral de estrellas O

2.1. Desarrollo de la espectroscopia estelar

La historia de la espectroscopía arranca con la publicación del libro de Isaac Newton (1704) titulado “Opticks”, que contiene la descripción de diferentes experimentos realizados con prismas y lentes y las deducciones hechas a partir de ellos. En este trabajo Newton estudia la naturaleza de la luz y del color, y varios fenómenos de difracción a los que llamaba inflexiones de la luz. En uno de estos experimentos, al hacer pasar la luz del Sol por un prisma, ésta se descompone en sus diferentes colores. Newton llegó a la conclusión de que estos colores no eran generados en el prisma, sino que eran componentes de la luz blanca que llegaba del Sol y eran separados al atravesar el prisma. También se usa por primera vez la palabra “espectro” para describir este arcoíris de colores.

Durante los siguientes 100 años no se produjo ningún avance importante en esta área hasta que a principios del siglo XIX (entre 1814 y 1823) aparecen publicados los trabajos de Joseph von Fraunhofer (1817), en los que se describen las líneas de absorción en los espectros del Sol y de otras estrellas. Estas líneas de absorción ya habían sido observadas por William Wollaston (1802) en su estudio del espectro solar gracias al uso de una rendija estrecha, pero Wollaston no supo interpretar sus resultados y ese trabajo no tuvo mayor repercusión. Fraunhofer redescubrió las líneas de absorción en el espectro solar, identificando 574 y haciendo medidas precisas de unas 350, incluidas las más intensas de la serie de Balmer. Fraunhofer fue el primero en darse cuenta de que los espectros de Sirio y de otras estrellas brillantes eran distintos entre sí y del Sol, iniciando de ese modo la espectroscopía estelar.

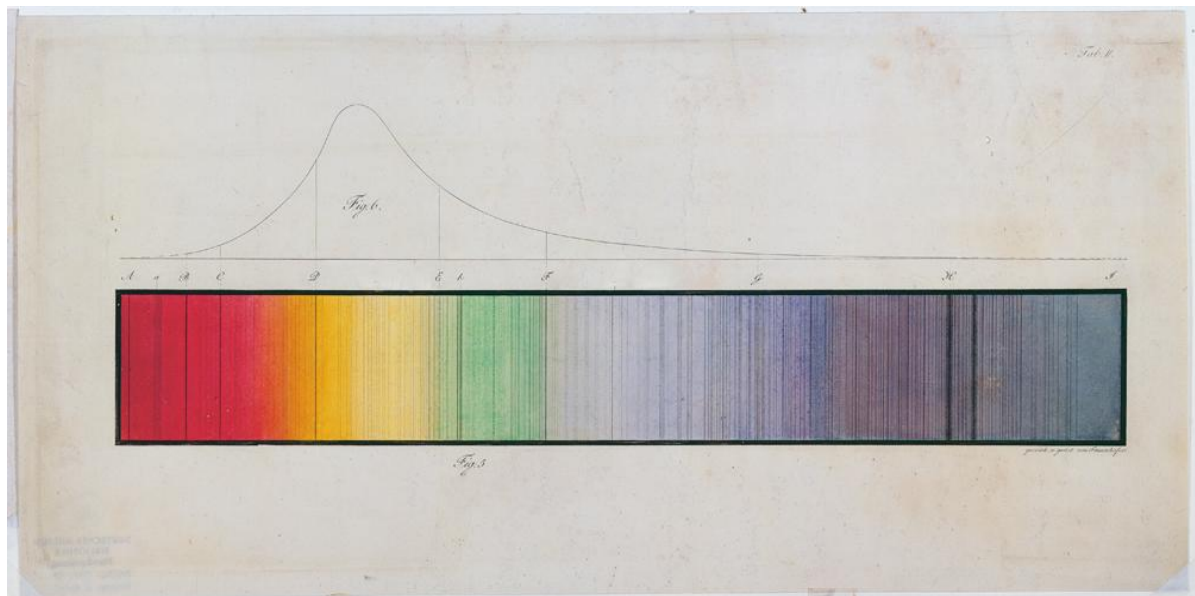


Figura 1. Espectro solar de Joseph von Fraunhofer obtenido con un espectroscopio de fabricación propia (ca. 1814).

Estos descubrimientos serían explicados de modo exhaustivo por Kirchhoff y Bunsen al notar que cada elemento químico producía un espectro único y que estos podían ser comparados con el espectro del Sol y de otras estrellas para determinar su composición química. De esta manera, entre 1861 y 1863 Kirchhoff pudo comparar el espectro solar con los de 30 elementos químicos diferentes y llegó a la conclusión que las capas exteriores de la atmósfera solar contenían hierro, calcio, magnesio, sodio, níquel y cromo, y probablemente también cobalto, bario, cobre y zinc (Kirchhoff, G., 1861, 1862 y 1862).

Los trabajos de Newton y Fraunhofer son eventos aislados en la historia de la espectroscopia astronómica, y fue en el año 1863 cuando se produjo una verdadera revolución en este campo con la publicación de los trabajos pioneros de William Huggins, Giovanni Battista Donati, George Airy, Lewis M. Rutherford y Angelo Secchi, propiciados por el desarrollo de espectroscopios con rendija y colimador.

En febrero de 1863, William Huggins publicó los dibujos con las principales líneas de Aldebarán, Sirio y Betelgeuse, con sus posiciones relativas con respecto a las líneas del Sol (Huggins, W. et al., 1863). Otras publicaciones suyas siguieron al año siguiente con los registros de las líneas de espectros de 24 elementos (entre los que se encuentran el oxígeno, nitrógeno, calcio, hierro...) junto con las líneas del Sol y del aire (Huggins, W., 1864) y la descripción de los espectros de 50 estrellas, enfrentando algunos de ellos con espectros de comparación (Huggins, W. et al., 1864).

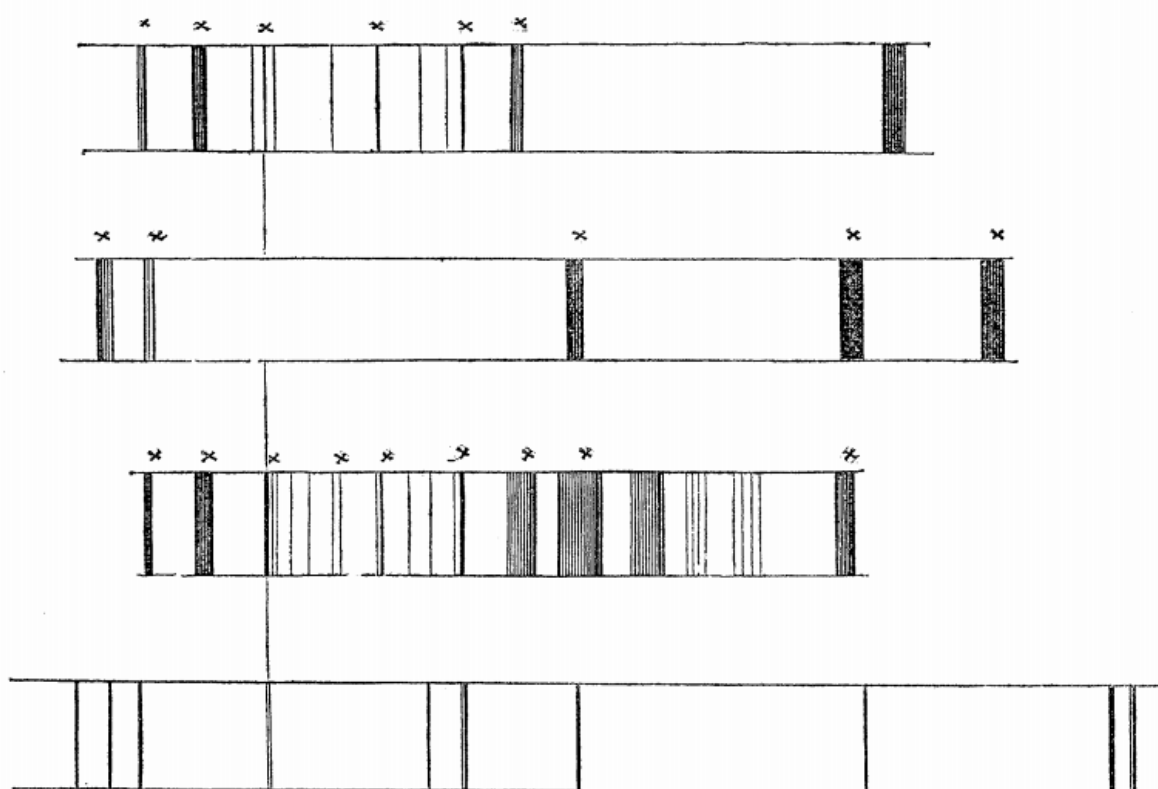


Figura 2. Representación realizada por Huggins de las principales líneas observadas en los espectros de Sirio, Betelgeuse, y Aldebarán, y su posición relativa al espectro solar.

En 1863, Giovanni Battista Donati publicó la descripción de los espectros de 15 estrellas, resaltando la presencia de una línea verde-azul en muchas de ellas, que ahora se identifica con $H\beta$ (Donati, G. B., 1863). George Airy inició un programa de espectroscopia estelar también ese año y publicó los espectros de 19 estrellas brillantes, marcando en ellos las líneas más intensas (Airy, G. B., 1863). De este proyecto surgió un programa paralelo para medir el movimiento de las estrellas en la línea de visión usando el efecto Doppler. Lewis M. Rutherfurd publicó los espectros del Sol, la Luna, Marte, Júpiter y 17 estrellas, y describió la primera clasificación espectral hasta la fecha (Rutherfurd, L.M., 1863). Angelo Secchi también publicó sus trabajos sobre espectroscopia estelar ese mismo año (Secchi, A., 1863a) y desarrolló un sistema de clasificación espectral con 5 tipos diferentes.

Todos estos trabajos fueron realizados simultánea e independientemente, pero se considera a Huggins el fundador de la espectroscopia estelar al ser el primero en publicar sus resultados.

2.2. Orígenes de la clasificación espectral

El primer intento de clasificación espectral que se publicó fue el de Rutherfurd (1863). Rutherfurd había acumulado suficientes espectros para definir una clasificación en tres grupos: Los que muestran colores como el Sol, con muchas líneas y bandas; los que se parecen a Sirio, que son estrellas blancas con líneas diferentes a las del Sol; y los que son como Rigel, que también son estrellas blancas, pero no muestran tantas líneas. Los equivalentes actuales a estos grupos serían las estrellas de tipos tardíos G, K y M, de las estrellas B tardías a las F tempranas con fuertes líneas de hidrógeno, y las estrellas tempranas con líneas de hidrógeno más estrechas y difíciles de ver en espectros de baja resolución.

Más detallados y casi simultáneos fueron los trabajos de Angelo Secchi, que también en 1863 clasificó los espectros estelares en dos tipos: Las estrellas blancas como Sirio, Rigel o β Sco a las que denominó de tipo “I” y las estrellas rojas o amarillas como α Ori, α Tau o Algol, de tipo “II” (Secchi, A., 1863a). Las de tipo “II” mostraban líneas coincidentes con las líneas del Sol mientras que las de tipo “I” parecían bastante diferentes. En 1866 presentó un catálogo con 209 estrellas, añadió el tipo “III” (que actualmente corresponde a las estrellas M), mencionó la posibilidad de medir velocidades radiales a partir del desplazamiento de las líneas e introdujo el subtipo “Orión” en el tipo “I” para designar espectros de estrellas blancas con líneas estrechas incluida $H\beta$ y sin las usuales bandas anchas del tipo “I” (Secchi, A., 1863b). Este subtipo corresponde actualmente a las estrellas B tempranas. En 1868 identificó algunas estrellas rojas débiles muy diferentes a las de color similar del tipo “III” que clasificó como de tipo “IV” (Secchi, A., 1863c). En estas últimas pudo relacionar sus líneas de absorción con las líneas del carbono identificadas en laboratorio. También identificó las fuertes líneas de absorción del tipo “I” como producidas por el hidrógeno. Para completar su sistema de clasificación, en 1877 introdujo la clase “V” para separar las estrellas con líneas de emisión como γ Cas y β Lyr (estrellas Be en el actual sistema MK) (Secchi, A., 1877).

Fig. 1. (*1st type: Sirius, Vega, Altair, Regulus, etc.*)

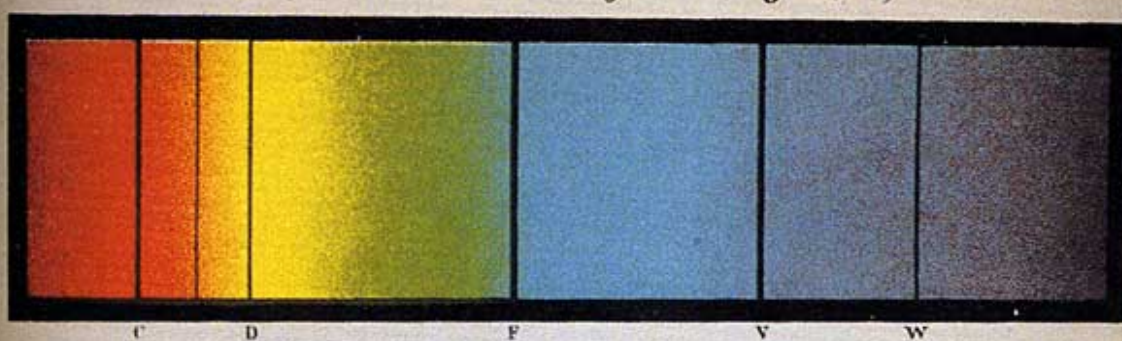


Fig. 2. (*2nd type: Sun, Pollux, Arcturus, Procyon, etc.*)

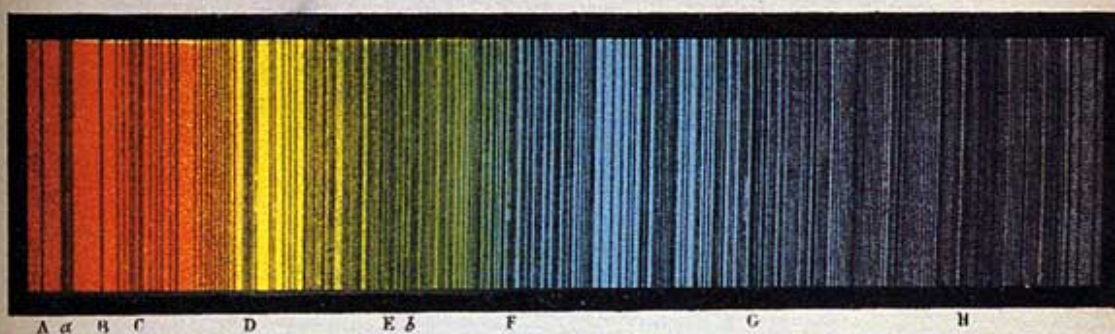


Fig. 3. (*3rd type: α Hercules, β Pegasus, α of Orion, Antares, etc.*)

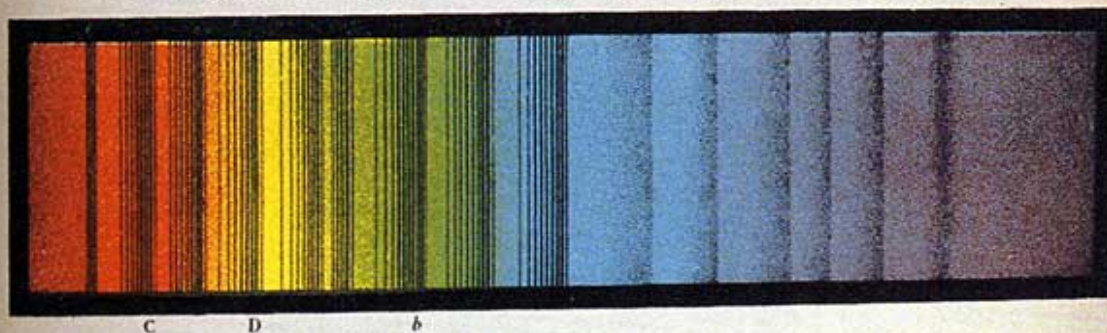


Fig. 4. (*4th type: 15 of Schjellerup.*)

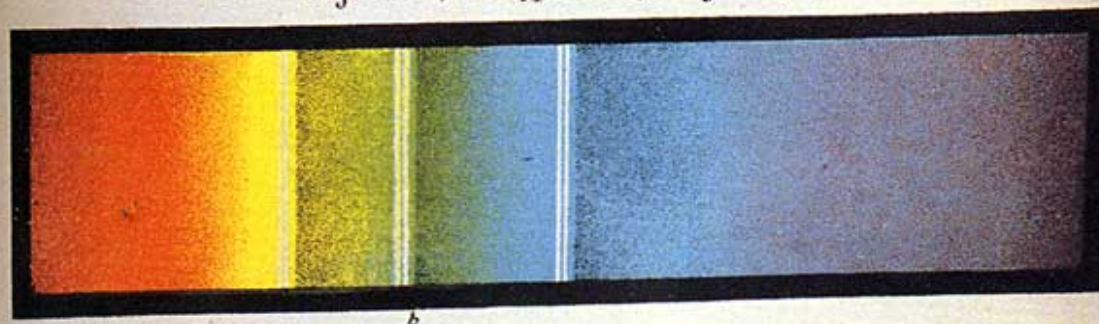


Figura 3. Litografía de 1870 con los tipos I-IV de Secchi.

Secchi introdujo los principios de la clasificación estelar y fue muy prolífico en este campo clasificando más de 4000 espectros, pero dada la variedad de espectros estelares, no a todos pudo asignar uno de sus tipos, denotando la diversidad de procesos físicos que hay detrás de esta variedad de espectros. Aunque Rutherford publicó primero sus resultados, estos no fueron tan difundidos en la época como los de Secchi, por lo que este último es considerado como el padre de la clasificación espectral.

En 1874, Vogel propuso otro sistema de clasificación espectral basado en el sistema de Secchi, combinando los tipos III y IV dado que ambos se basaban en bandas anchas, y subdividiendo los tres tipos resultantes (Vogel, H. C., 1874). Norman Lockyer propuso en 1887 un sistema de clasificación espectral diferente basado en sus hipótesis de evolución estelar. Aunque estas hipótesis nunca fuesen muy aceptadas, fue capaz de distinguir entre los espectros de gigantes y supergigantes de los espectros de enanas (Lockyer, J. N., 1887). Frank McClean realizó un sondeo de estrellas brillantes que terminó en 1897 y también desarrolló un sistema de clasificación basado en el de Secchi pero con las revisiones de Vogel. Dividió el tipo I de Secchi en tres grupos (I, II y III) correspondientes a los actuales B, A y F. Sus grupos IV, V y VI corresponden a los actuales G-K, M y estrellas de carbono (McClean, F., 1898).

En 1867 (antes de la introducción de los tipos IV y V de Secchi), Charles Wolf y Georges Rayet identificaron tres estrellas débiles en la constelación del Cisne con líneas de emisión (Wolf, C., Rayet, G., 1867). De acuerdo a sus descripciones, el espectro de estas tres estrellas se caracterizaba por tener varias bandas anchas de emisión superpuestas a un continuo de fondo. Estos espectros fueron descritos con más detalle por Hermann Carl Vogel (Vogel, H. C., 1883), mostrando que la banda azul de la primera estrella estaba ligeramente desplazada hacia el rojo con respecto a las otras dos. Esta fue la primera indicación de que las estrellas WR se agrupan en dos clases fundamentales, las WC (con mayor abundancia de carbono) y las WN (con mayor abundancia de nitrógeno), aunque la identificación de los iones responsables de estas emisiones prominentes tuvo que esperar hasta 1932 con el análisis de Bengt Edlén (Edlén, B., 1932).

2.3. El sistema Draper

Desde 1885 y durante 4 décadas se produjo un gran avance en la clasificación espectral en el observatorio de la Universidad de Harvard en Cambridge, Massachusetts. Su director, Edward C. Pickering, comenzó ese año a supervisar un sondeo espectroscópico sobre placas fotográficas usando el método de prisma objetivo. Un año después, Anna Palmer Draper se interesó en este proyecto de investigación y acordó financiarlo para honrar la memoria de su marido recientemente fallecido, por lo que el sondeo pasó a llamarse “Memorial Henry Draper”. Henry Draper también fue un pionero en la espectroscopía estelar siendo la primera persona en fotografiar un espectro estelar en 1872, y antes de su muerte en 1882 había tomado más de un centenar de fotografías de espectros estelares.

Williamina Fleming fue la colaboradora de Pickering asignada para examinar el primer sondeo espectral del que surgieron tanto una clasificación espectral como una estimación de las magnitudes de las 10.351 estrellas que formaban parte del catálogo “Memorial Henry Draper” de 1890 (Pickering, Edward C., 1890). Para su esquema de clasificación, Pickering y Fleming subdividieron los cuatro primeros tipos de Secchi en 13 tipos nombrados con las letras

que actualmente conocemos. Además, añadieron “O” para los espectros con líneas brillantes de emisión (estrellas Wolf-Rayet), “P” para nebulosas planetarias, y “Q” para los espectros que permanecían sin clasificar. Esta clasificación completamente empírica estaba basada en la apariencia de los espectros y no diferenciaba entre temperaturas ni estados evolutivos. La letra “A” se asignó a estrellas que mostraban líneas anchas de hidrógeno, como Sirio, y el resto de letras se iban asignando según iba disminuyendo la intensidad de las líneas de hidrógeno e iban apareciendo otras líneas. En esta primera versión del catálogo sólo aparecía una estrella de tipo O (Wolf-Rayet) y ninguna de tipo N.

| <u>Tipos de Secchi</u> | <u>Tipos del Memorial Draper</u> |
|------------------------|----------------------------------|
| I | A,B,C,D |
| II | E,F,G,H,I,K,L (J no se usa) |
| III | M |
| IV | N |

Tabla 1. Relación entre los tipos de Secchi y del Memorial Draper.

2.4. El sistema Harvard

Aparte de publicar el catálogo Draper, Pickering tenía previsto el estudio detallado de las estrellas más brillantes, tarea que encargó a Antonia Maury. Para ello se observaron 681 estrellas brillantes con $\delta > -30^\circ$ y con una mejor resolución que las de la primera versión del catálogo general. Para clasificar estos espectros Maury usó un sistema de 22 grupos designados por números romanos, de I al XXII, y fue la primera en colocar las estrellas de tipo B (el subtipo “Orion” de Secchi) por delante de las estrellas de tipo A en sus grupos equivalentes, teniendo en cuenta una secuencia de evolución (en función de la simplicidad de los espectros), aunque no era explícitamente una secuencia de temperatura.

Otra innovación en el sistema de Maury fue la subdivisión de los tipos de acuerdo a la anchura de las líneas, añadiendo un subíndice a cada tipo. Se consideraron tres tipos de líneas y la mayoría de los espectros pertenecían a la clase “a” donde se definía una anchura “promedio”. En la clase “b” las líneas eran mucho más anchas y borrosas, mientras que en la “c” eran estrechas y definidas. La clase “b” corresponden a las estrellas con rotación rápida o a binarias espectroscópicas SB2, aunque en aquella época esto era desconocido. La separación entre las clases “a” y “c” actualmente se relaciona con las clases de luminosidad, incluyéndose a las supergigantes en la clase “c” y a las estrellas de secuencia principal en la “a”. El trabajo de Maury se completó en 1895 y fue publicado dos años después (Maury, A. C.; Pickering, E. C., 1897).

El trabajo de clasificación de Antonia Maury era exclusivamente para estrellas al norte de -30° por lo que el resto del cielo en el hemisferio Sur quedaba aún sin explorar. Entre 1891 y 1899 se obtuvieron los espectros de más de 1000 estrellas desde el observatorio que tenía la Universidad de Harvard en Perú, y se asignó a Annie Jump Cannon para su clasificación. En su esquema de clasificación de 1901 (Cannon, A. J.; Pickering, E. C., 1901) volvió a los tipos con letras del sistema usado en el catálogo Draper de Williamina Fleming, pero actualizando el orden según el esquema de Maury. De esta manera, las estrellas del tipo “Orión” (B tempranas) y las que mostraban líneas de la serie de Pickering (estrellas O) fueron puestas a

la cabeza. Las líneas de la serie de Pickering fueron descritas en 1897 (Pickering, E. C., 1897) para designar a 3 líneas de Helio ionizado que se encuentran en los espectros de estrellas calientes, aunque Pickering asumió erróneamente que estas líneas eran creadas por Hidrógeno bajo condiciones de temperatura y presión desconocidas. Las únicas letras que Cannon uso del catálogo Draper fueron O, B, A, F, G, K y M (en ese orden), junto con “P” para designar una nebulosa planetaria, y “Q” para designar tres estrellas peculiares con líneas muy brillantes. En su catálogo no hay ninguna estrella de Carbono, así que la letra “N” no se usó.

TABLE XV.
SPECTRA OF TYPICAL STARS IN PART I.

| Group. | Div. | Constellation. | Desig. | Class. | Remarks. | Group. | Div. | Constellation. | Desig. | Class. | Remarks. |
|--------|------|----------------|------------|--------|----------|--------|------|----------------|------------|------------|----------|
| I | b | Monoceros .. | S | Oe 5 B | 18 | VIII | c | Cygnus | a | A 2 F Pec. | 40, 154 |
| II | a | Orion | ϵ | B | | IX | b | Ursa Major.. | δ | A 2 F | 18 |
| “ | b | Orion | δ | “ | 18 | X | a | Triangulum . | β | A 5 F | |
| III | a | Canis Major . | β | B 1 A | | “ | b | Aquila | a | “ | 18 |
| “ | b | Virgo | a | B 2 A | 18 | XI | a, b | Aquila | δ | F | |
| “ | c | Orion | χ^2 | “ | 40 | XII | a | Canis Minor . | a | F 5 G | |
| IV | a | Orion | γ | “ | | “ | c | Auriga | ϵ | “ Pec. | 40, 182 |
| “ | b | Ursa Major.. | η | B 3 A | 18 | XVII | c | Cygnus | 35 | “ | 180 |
| IV | a | Orion | π^4 | “ | | XIII | a | Orion | χ^1 | F 8 G | |
| “ | b | Canis Major . | ζ | “ | 18 | “ | c | Canis Major . | δ | “ Pec. | 40, 185 |
| V | a | Taurus | η | B 5 A | | XIII | a | Perseus | θ | G | |
| “ | b | Orion | τ | “ | | XIV | a | Auriga | a | “ | |
| “ | c | Canis Major . | η | “ Pec. | 40, 96 | XIV | a | Gemini | κ | G 5 K | |
| VI | a | Perseus | β | B 8 A | | XV | a | Boötes | a | K | |
| “ | b | Leo | a | “ | 18 | XV | a | Cancer | β | K 2 M | |
| “ | c | Orion | β | “ Pec. | 40, 112 | XVI | a | Taurus | a | K 5 M | |
| VII | b | Aquarius | η | “ | 18 | XVII | a | Andromeda.. | β | Ma | |
| “ | c | Camelop. ... | — | B 9 A | 40 | XVIII | a | Orion | a | “ | 211 |
| VII | a | Canis Major . | a | A | | XIX | a | Perseus | ρ | Mb | |
| “ | b | Hercules | σ | “ | 18 | XIX | a | Hercules | a | “ | 214 |
| “ | c | Leo | η | “ Pec. | 40 | XX | a | Cetus | σ | Md | |
| VIII | a | Gemini | a | “ | | XXI | — | Pisces | 19 | N | |
| “ | b | Ursa Major.. | γ | “ | 18 | XXII | — | Canis Major . | — | Ob | |

Tabla 2. Correspondencia entre los tipos de Antonia Maury y Annie Jump Cannon (1901).

Un desarrollo importante en el trabajo de Cannon fue la subdivisión decimal de los tipos espectrales. En su notación, B correspondía al actual B0 y B5A era un tipo a mitad de camino entre B y A (equivalente al actual B5), pero no todos los números estaban presentes en cada tipo. En los tipos O y M la subdivisión era con un subíndice alfabético. Una diferencia con respecto al sistema de Maury, es que Cannon no usó una subdivisión basada en las anchuras de líneas, añadiendo simplemente una nota referente a ello en estrellas individuales. El número total de tipos diferentes usados por Cannon entre Oa y Md era de 31.

El catálogo “Memorial Henry Draper” se completó en 1912 con la publicación de su última versión (Cannon, A. J.; Pickering, E. C., 1912). Annie Cannon se encargó de clasificar algunas estrellas al Norte de -20° que se habían omitido del catálogo de Antonia Maury de 1897 completando el sondeo hasta estrellas de quinta magnitud. También clasificó algunas

estrellas más débiles de quinta magnitud entre -20° y -30° y completó las estrellas al Sur de -30° hasta sexta magnitud. En esta versión del catálogo, se eliminó la segunda letra de los subtipos (por ejemplo, B2A pasó a ser B2), se usó la clase N que en la versión de 1901 no tenía ningún miembro y las estrellas peculiares pasaron a denominarse “Pec” en vez de “Q”. En total se habían clasificado más de 5000 estrellas de todo el cielo en el sistema más completo hasta la fecha.

Un par de años antes de la publicación de esta última versión, el sistema de clasificación de Cannon (definido entonces como clasificación Draper) fue oficialmente reconocido por la comunidad científica en la reunión de la Unión Internacional Solar de 1910, pero de manera temporal puesto que se consideró que el sistema no estaba terminado. Esta adopción temporal pasó a ser permanente en la primera asamblea general de la recientemente formada Unión Astronómica Internacional (IAU) celebrada en Roma en mayo de 1922 (Hearnshaw, J. B., 2014).

En octubre de 1911, Pickering y Cannon comenzaron un nuevo y colosal proyecto que dio lugar a la clasificación de 225300 estrellas, al que llamaron el catálogo Henry Draper (HD), que no hay que confundir con el catálogo Draper de espectros estelares de 1890 y sus siguientes versiones. Las clasificaciones llevadas a cabo por Cannon fueron completadas a finales de 1915, en menos de 4 años, siguiendo el mismo esquema de clasificación que en el catálogo Draper, pero con algunas pequeñas modificaciones. Para la realización de este catálogo de todo el cielo se utilizaron principalmente dos telescopios de similar apertura en ambos hemisferios, pero dadas las diferencias en su instrumentación, el límite en magnitud para las estrellas del Sur era superior que para las del Norte. El catálogo Henry Draper (HD) fue publicado entre los años 1918 y 1924 en 9 volúmenes del “Harvard Annals” (Cannon, A. J.; Pickering, E. C., 1918a, 1918b, 1919a, 1919b, 1920, 1921, 1922, 1923, 1924).

Tras la muerte de Pickering en 1919, Harlow Shapley lo sucedió como director del observatorio de la universidad de Harvard, y en 1923 planificó junto con Cannon la extensión del catálogo HD (Henry Draper Extension o HDE) con el objetivo principal de igualar los límites de magnitud en todo el cielo y ampliarlos en regiones seleccionadas. Se clasificaron 46.850 estrellas que conforman la primera versión de la extensión Henry Draper, y su publicación se extendió entre los años 1924 y 1936 (Cannon, A. J., 1924, 1936). Annie Cannon continuó clasificando estrellas hasta su muerte en 1941, y los últimos resultados se publicaron en 1949 con un segundo volumen del catálogo HDE (Cannon, A. J.; Mayall, M. W., 1949), aumentando el número total de estrellas de este catálogo hasta 86.932, casi todas clasificadas por Annie Cannon y unas pocas por Margaret W. Mayall.

2.5. El sistema Yerkes

William W. Morgan, del observatorio Yerkes, publicó en 1937 un trabajo en el que se estimaba la gravedad superficial " g " de una muestra de estrellas brillantes, incluyendo supergigantes, gigantes, enanas y enanas blancas, basado en la relación masa-luminosidad, en la temperatura de color " T ", y en los paralajes trigonométricos disponibles (Morgan, W. W., 1937). Morgan representó el primer diagrama $\log g - \log T$ donde se mostraba claramente que las estrellas de secuencia principal tienen aproximadamente la misma gravedad superficial en todo el rango espectral desde A0 a M0 y que cada grupo de luminosidad se separa de los otros.

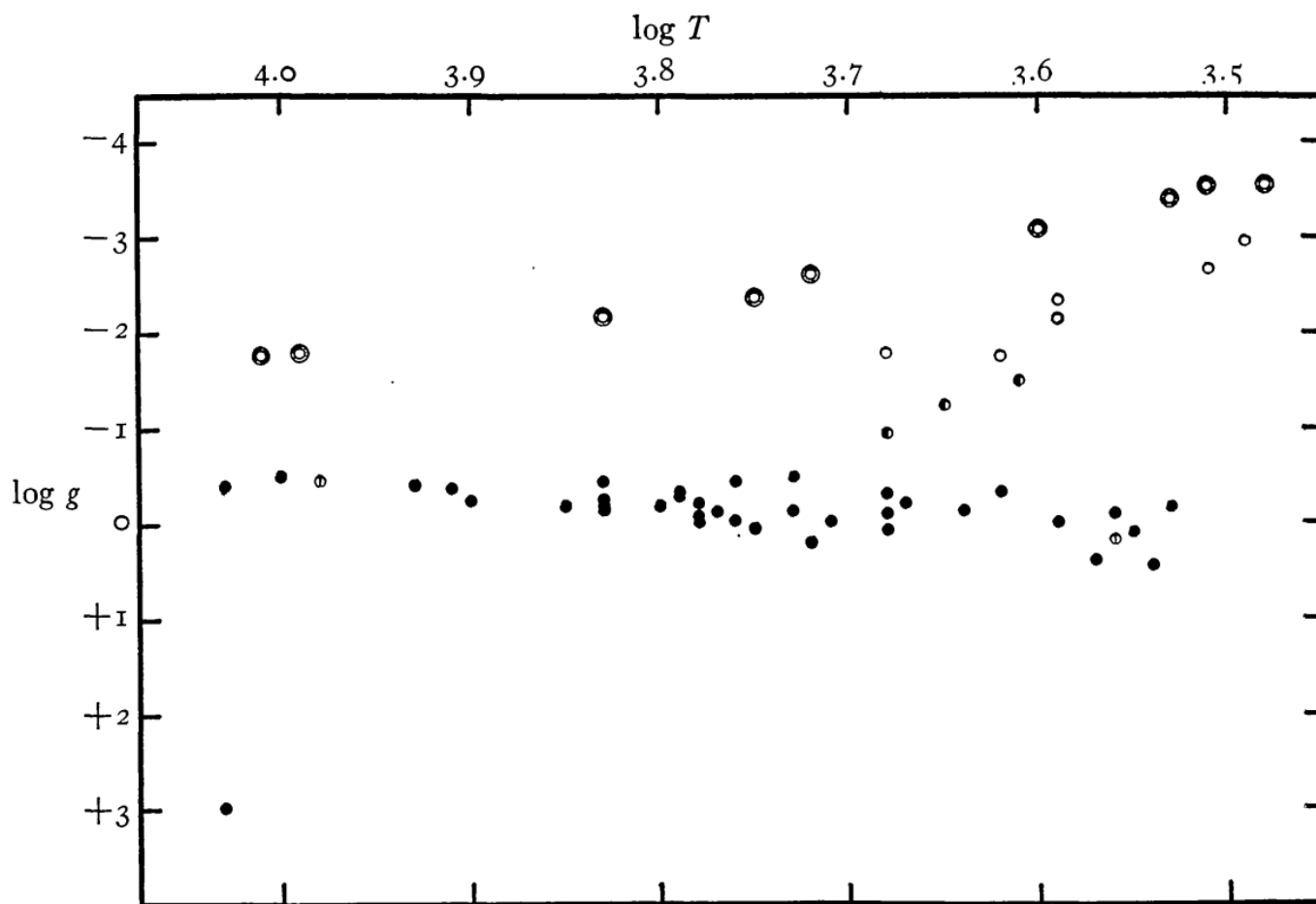


Figura 4. Diagrama temperatura efectiva - gravedad superficial de W. Morgan para las estrellas de varias clases de luminosidad.

Este diagrama fue la base de un nuevo sistema de clasificación espectral en dos dimensiones, en el que a cada estrella se le podía asignar un grupo de luminosidad (que correlacionaba con la gravedad) usando características en los espectros de baja resolución sensibles a esta, sin la necesidad de calcular su magnitud absoluta para ello. Al siguiente año, Morgan introdujo 5 clases de luminosidad, desde las supergigantes (I) a las estrellas de secuencia principal (V) usando para ello las relaciones entre intensidades de líneas de una especie neutra con otra ionizada (Morgan, W. W., 1938) y encontró que los índices de color en estrellas sin enrojecimiento por absorción interestelar eran unívocamente determinados por

su tipo espectral y clase de luminosidad, de tal manera que con dos parámetros era suficiente para describir completamente el espectro de baja dispersión de una estrella.

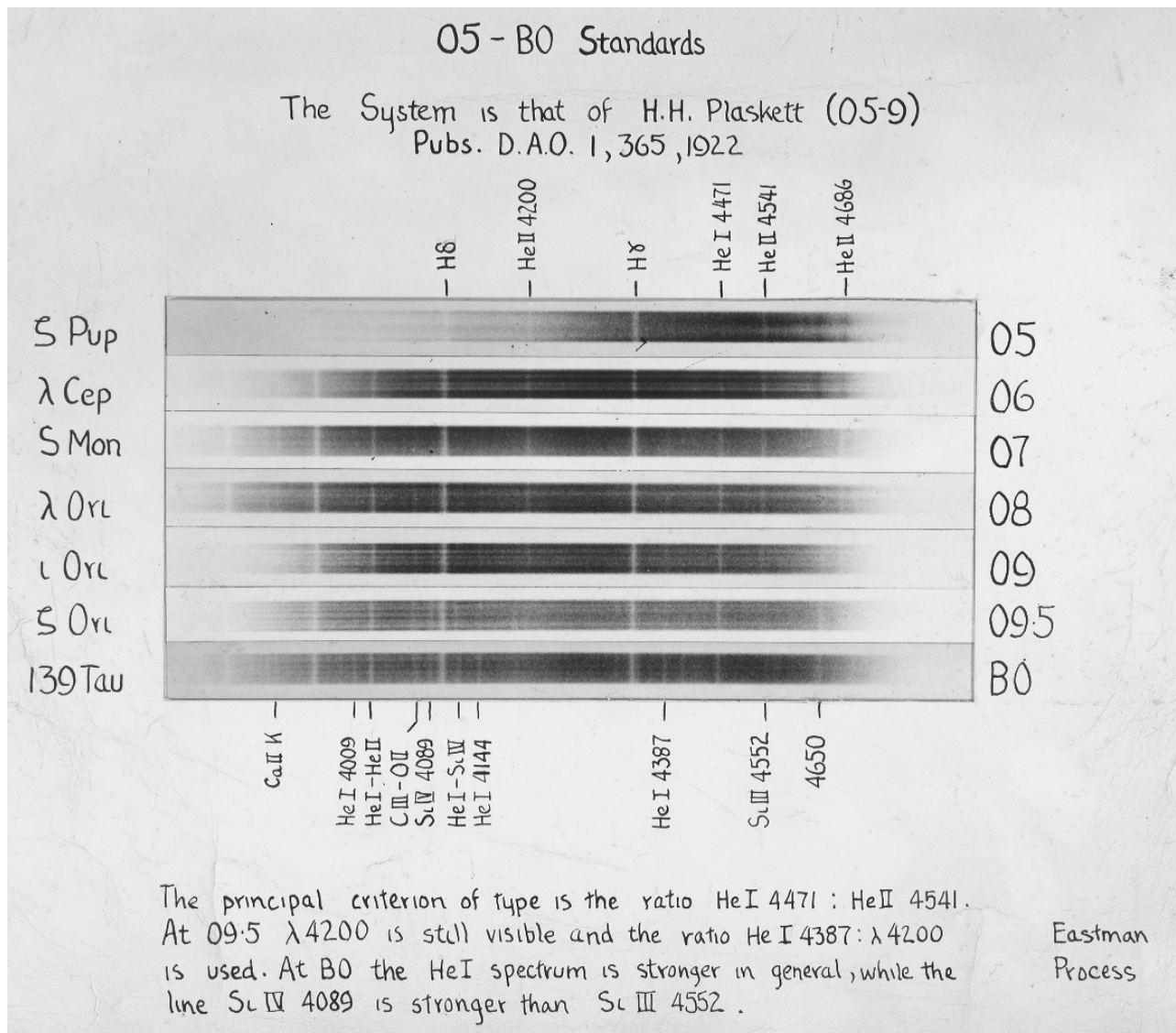


Figura 5. Ficha correspondiente a las estrellas de tipo O del atlas de espectros estelares de Morgan, Keenan y Kellman de 1943.

En los siguientes años, Morgan trabajó con Philip C. Keenan y Edith Kellman en la realización de un atlas de espectros estelares siguiendo el esquema de clasificación en dos dimensiones anteriormente descrito, que fue publicado bajo el título “Atlas of Stellar Spectra, with an Outline of Spectral Classification” (1943). Este atlas contenía 55 fichas con espectros estelares, que habían sido producidos por Keenan, la asistente fotógrafa del observatorio Yerkes. Las imágenes se presentaban en 3 categorías: 23 mostraban efectos de luminosidad en espectros de distintos tipos espectrales, otros 9 mostraban los espectros de estrellas estándares para una clase de luminosidad dada, pero variando su tipo espectral, y los restantes 23 mostraban varias peculiaridades espectrales que quedaban fuera de la clasificación propuesta. En el atlas se citan los trabajos pioneros de Antonia Maury, Annie Cannon, Norman

Lockyer, Bertil Lindblad y Ewan Gwyn Williams como las bases sobre las que se había desarrollado.

El esquema de clasificación espectral que acompaña al atlas (conocido como MKK por las iniciales de sus autores) está basado en el sistema de Harvard, pero los criterios de clasificación se definieron con mayor precisión y se presentó un gran número de estrellas estándar en cada tipo. También se describieron 6 clases de luminosidad (incluyendo las supergigantes Ia y Ib).

Algunos años después, Harold L. Johnson y William W. Morgan publicaron un trabajo (1953a) donde se definió el sistema fotométrico *UBV*, reconociendo su importancia para lograr un sistema de clasificación espectral uniforme. También se revisaron la lista de estándares y los criterios de clasificación, y se añadieron clases de luminosidad a algunos tipos que no las tenían en el atlas de 1943. El sistema de clasificación pasó a llamarse MK (Morgan–Keenan) y ha sido el más usado hasta nuestros días, sufriendo pequeñas modificaciones desde entonces. En la década de los 70 Morgan y Keenan publicaron el sistema MK revisado (1973) y también aparecieron nuevos atlas para estrellas más frías y más calientes que el Sol (1976,1978).

2.6. Determinación de temperaturas en espectros estelares

Las primeras medidas de temperaturas estelares fueron llevadas a cabo por los astrónomos alemanes Johannes Wilsing y Julius Scheiner en Potsdam. Su método consistía en medir la intensidad de 5 bandas en los espectros estelares y compararlo con las medidas realizadas en el espectro de una lámpara que había sido calibrada con el espectro de un cuerpo negro. De esta manera, pudieron calcular la temperatura de 109 estrellas (Wilsing, J.; Scheiner, J., 1909). A la estrella más temprana de las estudiadas, λ Orionis, le asignaron una temperatura de 12.800K, y a las estrellas más tardías, μ Gem y κ Ser de tipo M, les asignaron 2.800K. En el mismo año, Charles Nordmann calculó de una manera similar la temperatura de 14 estrellas, pero en este caso usando solo 2 bandas en vez de 5 (Nordmann, C., 1909). Nordmann calculó una temperatura para el Sol de 5990°, valor muy próximo al actualmente aceptado. Los resultados de Nordmann eran similares a los de Wilsing y Scheiner para estrellas más tardías de A5, pero para estrellas más tempranas divergían considerablemente, sobreestimando la temperatura los datos de Nordmann y subestimándola los de Wilsing y Scheiner.

| Nom de l'étoile. | $\log \frac{R}{B}$ | Température effective absolue. | Type spectral d'après | |
|--|--------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------|
| | | | Lockyer. | Harvard College. |
| ρ Persée..... | -0,230 | 2980 ^o | Antarian | M b |
| ζ Céphée..... | -0,552 | 4610 | Aldebarian | K |
| δ Céphée (min.)... | -0,592 | 4950 | Polarian | G |
| Soleil..... | -0,690 | 5990 | Arcturian | G |
| γ Cygne..... | -0,710 | 6330 | Polarian | F 8 G Péc. |
| δ Céphée (max.)... | -0,788 | 7940 | Polarian | G |
| γ Taureau..... | -0,806 | 8400 | Procyonian | K |
| RX Hercule..... | -0,808 | 8500 | Non classée | Non classée |
| Polaire..... | -0,844 | 9800 | Polarian | F 8 G |
| α Lyre..... | -0,946 | 18500 | Sirian | A |
| β Persée..... | -0,966 | 23800 | Algolian | B 8 A |
| γ Lyre..... | -0,980 | 28600 | Sirian | A |
| ε Persée..... | -0,986 | 31300 | Crucian | B |
| δ Persée..... | -1,018 | 55600 | Algolian | B 5 A |
| λ Taureau..... | -1,120 | >60000 | Taurian | B 3 A |
| Limite correspon- dant à $T_A = \infty$... | -1,140 | ∞ | | |

Tabla 3. Cálculo de la temperatura de 14 estrellas realizado por Charles Nordmann en 1909.

Estas primeras medidas de temperatura en espectros estelares no tenían en cuenta la extinción interestelar ni el efecto de las líneas de absorción en el flujo de las bandas medidas, por lo que sus resultados tenían errores sistemáticos y una gran dispersión. Pero de cualquier manera, estos resultados confirmaron por primera vez la dependencia del tipo espectral con la temperatura.

En 1920, Meghnad Saha publicó su famosa ecuación para el cálculo de los estados de ionización de un átomo a partir de la densidad, la temperatura y la composición química de un gas, utilizando la suposición de equilibrio termodinámico (Saha, M.N., 1920). Esta ecuación ha sido desde su publicación una herramienta básica en astrofísica para la interpretación de los espectros estelares. Saha aplicó por primera vez su ecuación al cálculo de la ionización de la cromosfera solar, y pudo explicar las líneas H y K del calcio ionizado. Un año después, Saha publicó un trabajo sobre el cálculo de temperaturas en espectros estelares aplicando el método de la aparición y desaparición de determinadas líneas espectrales. Aunque los datos que disponía sobre los potenciales de ionización eran muy limitados, Saha pudo calcular las temperaturas de los tipos espectrales de la secuencia de Harvard, desde el tipo Oa hasta el Me (Saha, M.N., 1921). También comparó sus resultados con la temperatura de color obtenida por Wilsing y Scheiner encontrando una buena correlación.

| Stellar class. | Typical star. | Secchi's classification. | Temperature.* | | Remarks. |
|----------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------|--|
| | | | Wilsing and Scheiner. | Saha. | |
| Pb | The Great Orion Nebula | — | 15,000 K† | | |
| Pc | I.C., 4997 | — | 30,000 K | — | Gaseous nebulae with bright lines. |
| Oa | B.D. + 35°, 4013... | Type V, including Wolf-Rayet stars. | 23,000 | 23,000–24,000 | |
| Ob | B.D. + 35°, 4001... | | — | 22,000 | |
| Od | ζPuppis | | | | |
| Oe | 29 Canis Majoris | | | | Henceforth all lines are dark. |
| Oe5 | τCanis Majoris ... | | | | |
| Bo | εOrionis | — | 20,000 | 18,000 | |
| B5A | γTauri | Type I, Helium and hydrogen stars. | 14,000 | 14,000 | |
| Ao | αCanis Majoris ... | | 11,000 | 12,000 | |
| A5F | βTrianguli | | 9,000 | | |
| Fo | αCarinae | Type II, Yellow-red stars. | 7,500 | 9,000 | |
| F5A | αCanis Minor | | 6,000 | | |
| Go | αAurigae | | 5,000 | 7,000 | The sun is a dwarf star of this class. |
| G5K | αReticuli | | 4,500 | | |
| Ko | αBootis | | 4,200 | | |
| K5M | αTauri | | 3,200 | | |
| Ma | αOrionis | Type III, Red stars. | 3,100 | 5,000 | |
| Md | 0Ceti | | 2,950 | 4,000 | |
| N | — | Type IV | 2,300 | | |
| R | — | | | | |

Tabla 4. Determinación de temperaturas para la secuencia de Harvard.

2.7. Clasificación de estrellas O: tipos espectrales

En el primer sistema de clasificación de Rutherford se agrupaban los espectros según su similitud a unas estrellas de referencia, pero no se seguía ninguna secuencia evolutiva o de temperatura. Los tipos de Secchi tampoco seguían criterios evolutivos, pero ya empezaban a aproximarse a una escala de temperaturas siendo las estrellas de tipo I las más calientes (entre las que se incluían las de subtipo “Orión”) y las de tipo IV las más frías. En el catálogo Draper, Williamina Fleming subdividió los tipos de Secchi y los ordenó en función a la anchura de las líneas de hidrógeno. Los tipos espectrales resultantes se nombraron con letras de la A a la N y también se introdujo el tipo “O” para clasificar estrellas con líneas de emisión, donde se incluían las estrellas WR.

Un resultado importante en el campo de las estrellas masivas fue la identificación hecha por Lockyer (1895) de líneas de helio (producido a partir de un mineral que contiene uranio llamado cleveíta) en los espectros de varias estrellas del subtipo “Orión”. Vogel usó estos resultados para subdividir su tipo I en varios subtipos, correspondiendo el Ib a las estrellas que mostraban líneas de cleveíta principalmente en 4026 Å, 4472 Å, 5016 Å y 5876 Å (Vogel, H. C., 1895). El subtipo Ib de Vogel corresponde con las estrellas OB actuales y es similar al subtipo “Orión” de Secchi.

Antonia Maury fue la primera en sugerir una secuencia de temperatura y ordenó los tipos de Fleming según esos criterios, colocando el subtipo “Orion” de Secchi por delante de las estrellas de tipo A de Fleming. Maury nombró sus grupos con números romanos e incluyó en el grupo I los espectros con líneas de absorción intensas en 4200.3 Å, 4542.7 Å y 4685.4 Å. Estas tres líneas descritas por Maury son producidas por He II y coinciden con el criterio actual para la clasificación de estrellas O. En su catálogo de espectros de 1897 sólo se incluyen 7 estrellas en el grupo I, siendo esta la primera lista publicada de estrellas O como tal. Con las clasificaciones actuales, en la lista hay estrellas desde O6 V (la más temprana) a O9 III (la más tardía). En el grupo no se hace ninguna subdivisión, pero en las notas de cada espectro se dan algunas indicaciones. Por ejemplo, para iota Orionis (la más tardía de todas, O9 III) pone “*esta estrella se aproxima al siguiente grupo*”. Las estrellas con bandas anchas de emisión las puso en el último grupo, el XXII, que contenía 4 estrellas WR.

| Group. | Div. | Cat. No. | Constellation. | Desig. | Remarks. |
|--------|----------|----------|----------------|-----------|----------|
| I. | <i>b</i> | 1256 | Monocer. | S | 1 |
| “ | <i>b</i> | 1027 | Orion | ι | 2 |
| “ | <i>b</i> | 1019 | Orion | λ | |
| “ | <i>b</i> | 1023 | Orion | 41 | 3 |
| “ | <i>b</i> | 652 | Perseus | ξ | 4 |
| “ | <i>b</i> | 3750 | Cygnus | A | |
| “ | <i>b</i> | 3821 | Cepheus | — | 5 |

Tabla 5. Estrellas del grupo I en el sistema de clasificación de Antonia Maury, de su catálogo de 1897.

Annie Cannon adoptó el sistema de clasificación de Maury, pero usando las mismas letras que Fleming. Para las estrellas más tempranas, combinó los grupos I y XXII de Maury, y dividió el grupo resultante en varios subgrupos (Oa-Oe y Oe5B).

Los tipos Oa, b y c corresponden a las actuales estrellas Wolf–Rayet (grupo XXII de Maury), con bandas de emisión más intensas en las Oa y más estrechas y débiles en las Oc, y sin líneas apreciables de absorción. En el tipo Od se indica que predominan las líneas de absorción, aunque también hay bandas de emisión intensas en 4633 Å (N III) y 4688 Å (He II). Este tipo corresponde a las estrellas O supergigantes más tempranas como ζ Puppis. Para las Oe se indica que son similares a las Od en cuanto a las bandas de emisión y líneas de absorción, pero que presentan más líneas de absorción que no aparecen en las Od, correspondiendo estas con las actuales supergigantes O más tardías. Por último, el tipo Oe5B es intermedio entre el Oe y el B y se corresponde con el grupo I de Maury. Las líneas son similares a las estrellas del tipo Oe, aunque sin la presencia de las bandas de emisión en 4633 Å y 4688 Å, teniendo en su lugar las líneas de absorción 4685 Å (He II) (actual criterio de luminosidad para estrellas O tardías) y 4649.2 Å (C III) (característica en las estrellas O gigantes y de secuencia principal a partir de O8). De esta manera, Cannon estableció la secuencia en temperaturas desde las estrellas WR, siguiendo con las O y continuando con las B, A, F, G, K y M. En el catálogo de Cannon aparecen 12 estrellas WR (entre Oa y Oc) y 11 estrellas O (entre Od y Oe5B).

TABLE XVI.
CLASSIFICATION OF SPECTRA.

| Class. | Cat. No. | Constellation. | Des. | Remarks. | Prs. | Class. | Cat. No. | Constellation. | Des. | Remarks. | Prs. |
|--------|----------------------|----------------|----------------|----------|------|--------|----------|----------------|----------------|----------|------|
| P | 14204 | Hydra | — | 1 | 1 | B | 6501 | Orion | ε | — | 3 |
| Q | 14720 | Carina | η | 2 | 1 | " | 10268 | Puppis | P | — | 1 |
| " | 14965 | Carina | — | 3 | 1 | " | 12035 | Vela | f | — | 2 |
| " | 14971 | Carina | — | 4 | 1 | " | 6614 | Orion | ζ | 18, 19 | 3 |
| Oa | 15305 | Carina | — | — | 1 | " | 6401 | Orion | δ | 18, 19 | 3 |
| " | 22827 | Scorpius | — | — | 2 | " | 24850 | Sagittarius | — | — | 1 |
| " | — 21° 4864 | Sagittarius | — | — | 1 | " | 22626 | Ara | — | 20 | 2 |
| " | 10 ^h 2684 | Carina | — | — | 1 | " | 21685 | Scorpius | δ | 18, 21 | 2 |
| " | 8 ^h 4141 | Vela | — | — | 1 | " | 22451 | Scorpius | τ | 22 | 2 |
| " Pec. | 10863 | Vela | γ | 5 | 2 | " | 14667 | Carina | θ | 23 | 2 |
| " Pec. | 17840 | Musca | θ | 6 | 1 | " | 14489 | Carina | — | 24 | 1 |
| Ob | 8631 | Canis Major | — | 7 | 1 | " | 14483 | Carina | — | 24, 230 | 1 |
| Oc | 22763 | Scorpius | — | — | 2 | " | 6481 | Orion | — | 25 | 1 |
| " | 14691 | Carina | — | 8 | 1 | " | 6482 | Orion | — | 25 | 1 |
| " Pec. | 14684 | Carina | — | 9 | 1 | " | 15175 | Carina | — | — | 1 |
| " Pec. | 14626 | Carina | — | 10 | 1 | " | 22814 | Scorpius | — | 26, 27 | 2 |
| Od | 10691 | Puppis | ζ | 11 | 2 | " | 22824 | Scorpius | — | 28 | 1 |
| Oe | 9311 | Canis Major | — | — | 1 | " | 22845 | Scorpius | — | 29 | 1 |
| " | 22748 | Scorpius | — | 12 | 2 | " | 14698 | Carina | — | 27 | 1 |
| " | 22843 | Scorpius | — | 13 | 2 | B 1 A | 19043 | Centaurus | β | — | 3 |
| Oe 5 B | 9313 | Canis Major | τ | — | 1 | " | 22158 | Scorpius | σ | 30 | 2 |
| " | 20649 | Circinus | δ | — | 1 | " | 17411 | Crux | β | 30, 31 | 2 |
| " | 20695 | Circinus | — | — | 1 | " | 7989 | Canis Major | ξ ¹ | — | 1 |
| " | 17572 | Crux | — | 14 | 1 | " | 18559 | Centaurus | ε | — | 2 |
| " | 6486 | Orion | ι | 15 | 1 | " | 16942 | Crux | α ¹ | 18, 32 | 2 |
| " | 6478 | Orion | θ ¹ | 16 | 1 | " | 23515 | Ara | γ | 18, 33 | 2 |
| " | 14811 | Carina | — | 17 | 1 | " | 10392 | Puppis | J | 18, 34 | 1 |

Tabla 6. Estrellas O en el sistema de clasificación de Antonia Cannon, de su catálogo de 1901.

En los catálogos mencionados de Fleming, Maury y Cannon solo aparecen 18 estrellas O y 16 WR. En 1912 Fleming publicó un trabajo sobre estrellas con espectros peculiares aumentando el número de estrellas WR y estrellas O hasta 133, de las cuales 91 habían sido descubiertas directamente por ella (Fleming, W. P.; Pickering, E. C., 1912). En los catálogos posteriores "Henry Draper" y "extensión Henry Draper" ya aparecen 78 estrellas con los tipos Oe5, Oe y Od (actuales estrellas O en el sistema MK) y 122 estrellas con los tipos O, Oa, Ob y Oc (estrellas Wolf-Rayet).

En 1922, la IAU adoptó de manera oficial el sistema de clasificación Henry Draper, aunque advirtiendo de la necesidad de revisar la clasificación de las estrellas de tipo O, que aún no tenía una subdivisión con notación decimal (Hearnshaw, J. B., 2014). Esta tarea fue abordada por Harry Plaskett en el Observatorio Astrofísico Dominion de Victoria (Columbia Británica, Canadá) con su trabajo exhaustivo sobre los espectros de 3 estrellas O (Plaskett, H. H., 1921). Su sistema de clasificación para estrellas O, o sistema Victoria, se basaba en las intensidades de determinadas líneas de absorción, mientras que el viejo sistema de Harvard

se basaba principalmente en las líneas o bandas de emisión. Plaskett detectó una secuencia clara en las líneas de Pickering de las tres estrellas estudiadas junto con otras tres de tipo B. Esta secuencia era independiente de las líneas de emisión de los espectros, por lo que descartó de su sistema las estrellas con bandas de emisión (Oa, Ob y Oc), y reclasificó las Od, Oe y Oe5 en una escala decimal desde O5 a O9, dejando libres los tipos de Oo a O4 para posibles nuevos descubrimientos. Para describir los nuevos subtipos usó principalmente las proporciones entre las intensidades de las líneas de He I 4471 Å a He II 4542 Å, de He II 4542 Å a H γ y de Si IV 4088 Å a N III 4097 Å, asignando al tipo O6 una proporción $4471/4542 = 0.8$ y al O7 $4471/4542 = 1.4$, valores próximos a los que actualmente se usan al clasificar estos tipos. En el tipo O5 (el más temprano) indicó la existencia de una línea desconocida en 4604 Å, siendo esta una línea de N V característica en estrellas muy tempranas (O2, O3, O3.5 y O4 en el sistema MK).

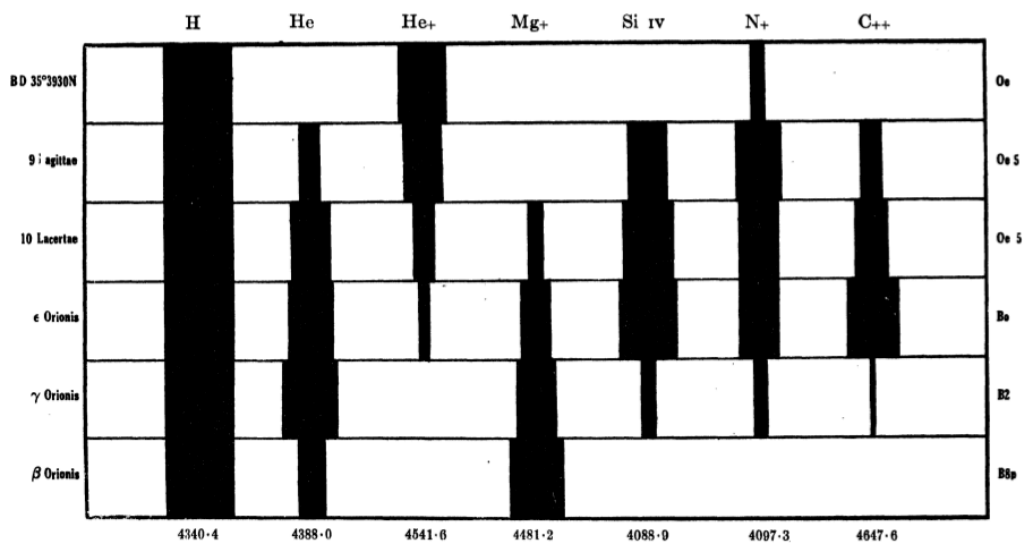


Figura 6. Diagrama con las intensidades relativas de algunas líneas de las tres estrellas O del estudio de Plaskett y otras 3 estrellas B. Queda clara la secuencia que dio lugar a los criterios para la subdivisión de las estrellas O.

De esta manera pudo determinar una secuencia de temperatura basada en las nuevas teorías de ionización de Saha, aunque los resultados obtenidos fueron mucho menores (en un factor 2 o más) de los actualmente aceptados. Para el tipo O5 asignó una temperatura probable de 22000 K, y para el tipo O9 de 15,000 K mientras que los valores actualmente aceptados son de aproximadamente 43000 K para el equivalente O4 y de unos 31000 K para el O9 (Martins, F. et al., 2005). Poco tiempo después, Fowler y Milne determinaron una escala de temperaturas para estrellas O y B tempranas más próxima a la actual, pero aun subestimándolas (Fowler, R. H.; Milne, E. A., 1924). Más de 20 años después del trabajo de Fowler y Milne, Robert Petrie recalculó las temperaturas de ionización a partir de las intensidades de las líneas de Helio neutro e ionizado, llegando a unos valores mucho más cercanos a los actuales (Petrie, R. M., 1947).

TABLE 6. EXCITATION TEMPERATURE OF THE O STARS

| — | Obs'd Ratio 4542/4471 μ | Log. Corrected Observed Ratio | T (log $P_e = 2.80$) |
|----|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| O5 | 2.58 | +0.660 | 36,300° K |
| O6 | 1.34 | +0.216 | 34,600 |
| O7 | 0.76 | -0.243 | 32,900 |
| O8 | 0.49 | -0.595 | 31,700 |
| O9 | 0.31 | -0.914 | 30,700 |
| BO | 0.12 | -1.633 | 28,600 |

Tabla 7. Estimación de temperaturas para estrellas tempranas de Robert Petrie.

Para designar las estrellas con alguna línea de emisión (las Od y Oe de Harvard), Plaskett adoptó el sufijo “e” según las recomendaciones del comité de clasificación espectral de la IAU. En 1930 Joseph Pearce propuso la sustitución del sufijo “e” por “f” para evitar la confusión con el tipo espectral Oe de Harvard (Pearce, J. A., 1930). Pearce definió el tipo Of como los espectros que muestran He I 4686 Å y N III 4634–4640–4642 Å en emisión, definición que continúa vigente. El nuevo sistema de subdivisión decimal en estrellas O de Plaskett fue adoptado por la IAU en la reunión de Liden de 1928 (Hearnshaw, J. B., 2014). La notación de Harvard para las estrellas Wolf-Rayet (Oa, Ob y Oc) se mantuvo por el momento. En 1931 John Stanley Plaskett y Joseph Algernon Pearce revisaron el sistema Victoria (Plaskett, J. S.; Pearce, J. A., 1931), usando los criterios He II 4541 Å / He I 4471 Å como primario, y He II 4200 Å / He I+II 4026 Å como secundario, asignándoles el valor unidad en el tipo O7 para el primario y O6 en el secundario.

Con la aparición de nuevos instrumentos como microfotómetros y microdensitómetros, se pudieron hacer medidas más precisas de las anchuras de líneas y a partir de 1936 se publicaron varios trabajos sobre las características de los espectros en estrellas OB a partir de las intensidades medidas. E. G. Williams (1936) y P. Rudnik (1936) publicaron el mismo año sendos trabajos sobre las variaciones de la intensidades de líneas con respecto al tipo espectral para estrellas de tipo B, dando también criterios para las estrellas de tipo O más tardías. Muchas líneas empleadas por Williams eran débiles y estaban sujetas a grandes errores de medida, y sus criterios de clasificación no eran aplicables para estrellas más tempranas que O7.

TABLE 16—ABSORPTION LINE O-TYPE STARS

| B.D. | R.A. 1900 | | Dec. 1900 | | Vis. | Harv. | 4471 | 4541 | 4088 | Prop. | Remarks |
|------------|-----------|-------|------------|---|-------|-------|----------|------------|----------|-------|------------------------------------|
| | | | | | Mag. | Type | 4541 | H γ | 4097 | Type | |
| $^{\circ}$ | h | m | $^{\circ}$ | ' | | | | | | | |
| 40 501 | 2 | 16.7 | 41 02 | | 7.5 | Bo | 2.8 | 0.25 | 0.53 | O9 | 4686 absorption |
| 58 467 | 2 | 19.5 | 58 25 | | 8.04 | Oe | 0 | 0.6 | — | O5e | 4686 broad emission |
| 56 693 | 2 | 35.5 | 56 28 | | 8.4 | Oe | 0.7 | 0.6 | — | O6e | 4686 emission. One plate only. |
| 52 726 | 3 | 48.0 | 52 22 | | 6.70 | Oe5 | 3.0 | 0.2 | 0.9 | O9 | 4686 absorption |
| 34 980 | 5 | 09.7 | 34 12 | | 5.81 | Oe5 | 4 | 0.2 | 1.5 | O9 | Almost identical 10 Lacertæ |
| 37 1146 | 5 | 14.0 | 37 20 | | 6.71 | Oe5 | 0.8 | 0.6 | — | O6 | 4686 faint absorption |
| 9 879 | 5 | 29.6 | 9 52 | | 3.66 | Oe5 | 2 | 0.3 | 1.0 | O8 | λ_1 Orionis |
| ..... | ..... | ..... | ..... |  | 5.56 | Oe5 | ∞ | 0 | ∞ | B1 | λ_2 Orionis |
| -5 1315 | 5 | 30.4 | -5 27 | | 5.36 | Oe5 | 1.0 | 0.5 | — | O6 | θ Orionis C |
| | | | | | | | ∞ | 0 | — | B1 | θ Orionis D. |
| -6 1241 | 5 | 30.5 | -5 59 | | 2.87 | Oe5 | 3 | 0.2 | 2 | O9 | ι Orionis. |
| 20 1284 | 6 | 03.7 | 20 31 | | 7.40 | Oe5 | 0.7 | 0.6 | — | O6 | |
| 6 1303 | 6 | 31.1 | 6 10 | | 7.3 | B2 | 2 | 0.3 | 1.0 | O8 | Discovered by J.S.P. |
| 6 1309 | 6 | 32.0 | 6 13 | | 6.06 | Bop | 2 | 0.3 | 1.1 | O8 | Very massive star J.S.P., D.A.O. |
| 10 1220 | 6 | 35.5 | 9 59 | | 4.68 | Oe5 | 1.1 | 0.45 | 0.8 | O7 | S Monoc. |
| -10 1892 | 7 | 04.6 | -10 11 | | 6.20 | Oe5 | 0.7 | 0.4 | — | O7 | |
| -24 5176 | 7 | 14.5 | -24 47 | | 4.40 | Oe5 | 5 | 0.15 | 1.4 | O9-Bo | τ Can. Maj. Typical Oe5 star. |
| -24 13814 | 17 | 57.7 | -24 22 | | 5.86 | Oe5 | 0 | 0.5 | — | O5 | 9 Sagittarii |
| -24 13864 | 17 | 59.0 | -24 24 | | 6.79 | Oe5 | 1 | 0.5 | — | O6 | |
| -18 4886 | 18 | 11.6 | -18 30 | | 6.37 | Oe5 | 2 | 0.4 | — | O8 | |
| -20 5344 | 18 | 52.3 | -20 33 | | 6.73 | Oe5 | 1 | 0.3 | 1 | O8 | |
| 18 4276 | 19 | 47.9 | 18 25 | | 6.29 | Oe5 | 1.4 | 0.4 | 0.8 | O7 | 9 Sagittæ. Eye-piece estimates. |
| 35 3930N | 19 | 59.8 | 35 45 | | 7.2 | Oe | 0 | 0.6 | — | O5e | Eye-piece estimates. |
| S | ..... | ..... | ..... |  | 7.7 | ..... | 4 | 0.2 | 2 | O9-Bo | |
| 35 3949 | 20 | 01.9 | 35 19 | | 7.4 | ..... | 0.9 | 0.5 | — | O6 | |
| 35 3953 | 20 | 02.2 | 35 31 | | 7.01 | Op | 5 | 0.2 | 2 | O9-Bo | Broad emission 4686. |
| 43 3571 | 20 | 17.1 | 43 32 | | 6.83 | Oa | 0 | 0.6 | — | O5e | Broad emission band at 4686. |
| 44 3639 | 20 | 53.1 | 44 33 | | 6.01 | Oe5 | 0.8 | 0.5 | 0.6 | O6 | |
| 43 3877 | 21 | 14.8 | 43 31 | | 6.06 | Oe5 | 1.7 | 0.3 | — | O8 | A Cygni. Broad weak lines. |
| 56 2617 | 21 | 35.9 | 57 02 | | 5.64 | Oe5 | 0.6 | 0.5 | — | O6 | |
| 61 2246 | 22 | 02.1 | 61 48 | | 5.17 | Oe5 | 8 | 0.2 | 1.3 | O9-Bo | |
| 58 2402 | 22 | 08.1 | 58 56 | | 5.19 | Od | 1 | 0.5 | — | O6e | λ Cephei. Diffuse lines. |
| 38 4826 | 22 | 34.8 | 38 32 | | 4.91 | Oe5 | 2.7 | 0.2 | 1.4 | O9 | 10 Lacertæ. Eye-piece estimates. |

Tabla 8. Primera clasificación de estrellas O en el sistema de subdivisión decimal de Plaskett. También se muestran los tipos antiguos de cada estrella en el sistema de Harvard y los criterios de proporciones de líneas usados para la clasificación.

Siguiendo los trabajos de Williams y Rudnik, Petrie comenzó un estudio para establecer criterios cuantitativos para la clasificación de estrellas de tipos O y B a partir de los espectros obtenidos en el programa de velocidades radiales del observatorio astrofísico Dominion. Petrie publicó sus resultados para las estrellas de tipo O en 1947 (Petrie, R. M., 1947). Sus criterios de clasificación para las estrellas de este tipo están basados en los de Plaskett y se resumen en la siguiente figura.

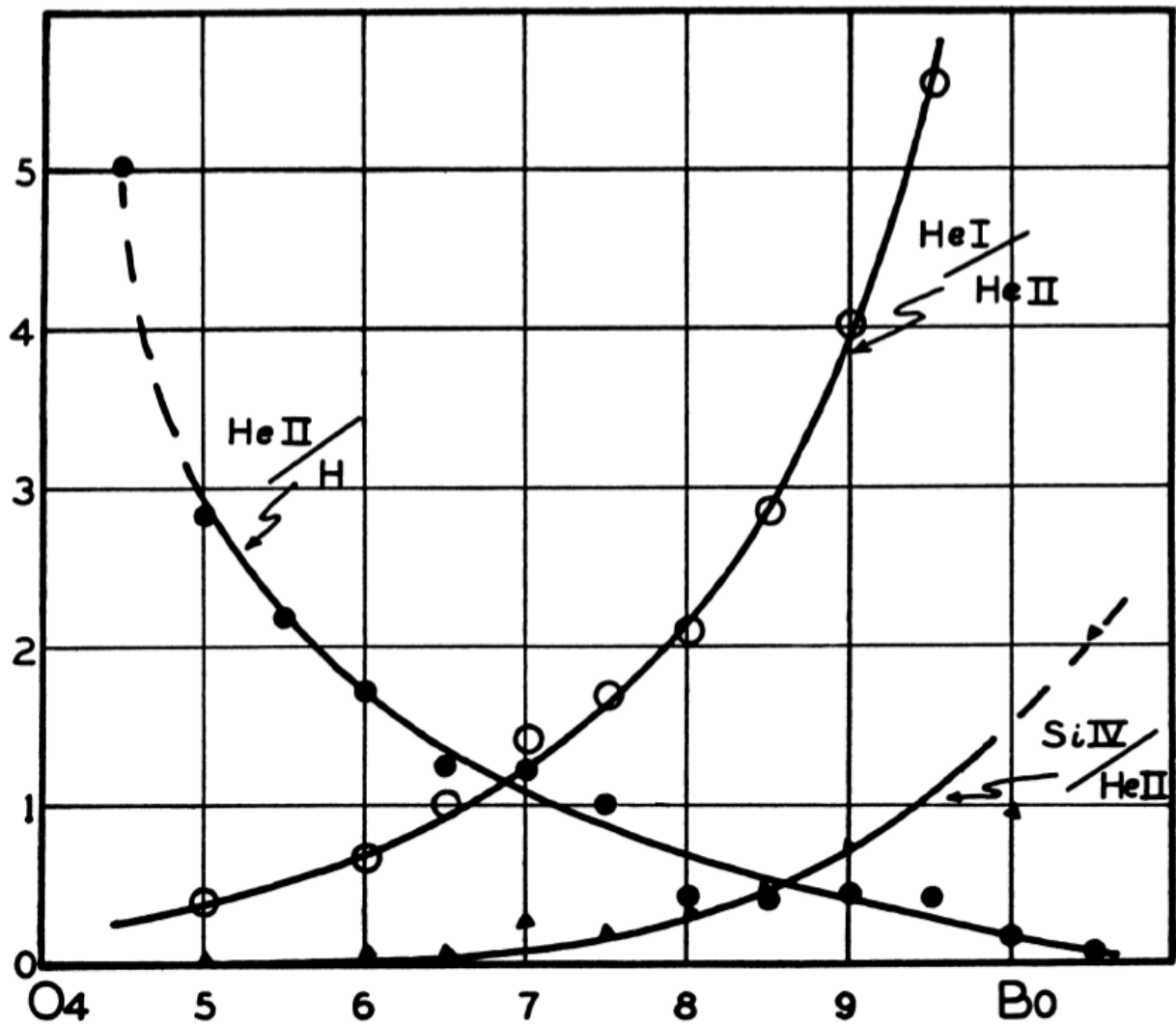


Figura 7. Diagrama Petrie para la determinación de tipos espectrales a partir de las proporciones entre las intensidades de varias líneas.

La definición de las clases de luminosidad en 1943 por Morgan, Keenan y Kellman (MKK), supuso un gran avance en los sistemas de clasificación espectral, pero en esta primera implementación no se aplicó a estrellas más tempranas al tipo O9. Los criterios de clasificación de Plaskett se mantuvieron y se añadieron dos subtipos más (O6 y O9.5)

En los siguientes años se hicieron varias revisiones o adiciones al tipo MKK, subdividiendo alguno de los tipos y añadiendo tipos más tempranos. Morgan et al. (1965) introducen el tipo O4 al estudiar el espectro de HD 46 223 en NGC 2244. Abt et al (1968) introducen el tipo O8.5. Walborn (1971a) introduce el tipo interpolado O9.7 que se define con la igualdad de las líneas He II 4541 Å y Si III 4552 Å y los tipos ON y OC con mayores abundancias de Nitrógeno y Carbono respectivamente.

| Star | Sp _{MKK} | Sp _{HHP} | α | δ | m | HD | Notes |
|------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|-----|-----|-------|
| ζ Pup | O5 | ... | 08:00 | −39°43′ | 2.3 | Od | |
| 9 Sgr | O5 | O5 | 17:57 | −24 22 | 5.9 | Oe5 | 1 |
| λ Cep | O6 | O6 | 22:08 | +58 55 | 5.2 | Od | |
| HD 5005 | O6 | ... | 00:47 | +56 05 | 7.7 | B2 | 1 |
| θ^1 Ori C | O6 | O7 | 05:30 | −05 27 | 5.4 | Oe5 | 2 |
| HD 165052 | O7 | O6 | 17:50 | −24 24 | 6.8 | Oe5 | 1 |
| S Mon | O7 | O7 | 06:35 | +09 59 | 4.7 | Oe5 | |
| ξ Per | O7 | ... | 03:52 | +35 30 | 4.1 | Oe5 | |
| λ Ori A | O8 | O8 | 05:29 | +09 52 | 3.7 | Oe5 | |
| ι Ori | O9 V | O9 | 05:30 | −05 59 | 2.9 | Oe5 | 3 |
| 10 Lac | O9 V | O9 | 22:34 | +38 32 | 4.9 | Oe5 | 3 |
| HD 188209 | O9 I | ... | 19:49 | +46 47 | 5.5 | B0 | 4 |
| HD 218915 | O9 I | ... | 23:06 | +52 31 | 7.1 | B0 | 4 |
| 9 Cam | O9.5 I | | 04:44 | +66°10′ | 4.4 | B0 | |
| δ Ori | O9.5 III | | 05:26 | −00 22 | 2.5 | B0 | |
| σ Ori | O9.5 V | | 05:33 | −02 39 | 3.8 | B0 | |
| ζ Ori | O9.5 III | | 05:35 | −02 00 | 2.1 | B0 | |
| ζ Oph | O9.5 V | | 16:31 | −10 22 | 2.7 | B0 | |
| 19 Cep | O9.5 I | | 22:02 | +61 48 | 5.2 | Oe5 | |

Tabla 9. Clasificación de estrellas O en el sistema de subdivisión decimal MKK. También se muestran los tipos análogos de Plaskett y los antiguos en el sistema de Harvard.

Nolan Walborn (1971b) extendió el límite más caliente hasta el tipo O3, para describir los espectros de cuatro estrellas de la nebulosa de Carina. Estas estrellas se caracterizan por tener una fuerte absorción en He II 4686 Å además de varias líneas de Nitrógeno ionizado (N IV y N V) en la región del violeta. Por otro lado, la línea de He I 4472 Å que se muestra débil en las estrellas de tipo O4, está ausente en las de tipo O3 para la resolución usada en el estudio. Walborn indica que este grupo es inhomogéneo al tener solo limitado el lado más frío (entre O3 y O4). Unos años después, Walborn (1982a) amplía la muestra de estrellas de tipo O3 hasta un total de 10 estrellas.

Más recientemente, Walborn (2002) extendió nuevamente el límite hasta O2 usando también estrellas calientes de tipo O en la región de la nebulosa de Carina, pero esta vez con las características espectrales mostradas en nuevos espectros digitales con una alta relación señal/ruido. Dada la ausencia en estos espectros de las líneas de HeI en absorción, se usaron como criterio las líneas de emisión de N IV 4058 Å y N III 4634–4640–4642 Å, subdividiendo el tipo O3 anteriormente definido en O2, O3 y O3.5. En el tipo O2, la emisión de N IV 4058 Å es más intensa que la de N III 4634–4640–4642 Å, mientras que en el tipo O3.5 estas líneas tienen intensidades comparables. El tipo O3 es un caso intermedio con N IV ligeramente más intenso que N III. También se añadió el parámetro f* para denotar N IV más intenso que N III (estrellas O2 y O3).

2.8. Clasificación de estrellas O: clases de luminosidad

Uno de los primeros estudios en proponer un sistema de clasificación en dos dimensiones para todos los tipos espectrales, fue el publicado por Daniel Chalonge y Lucienne Divan (1952). Para su sistema de clasificación usaron solo la zona adyacente al salto de Balmer. Al representar la altura del salto de Balmer ("D") frente a su posición en longitud de onda (λ_1) para una determinada estrella en un diagrama empírico que habían desarrollado, podían discriminar a la vez entre los distintos tipos espectrales y clases de luminosidad. Este diagrama estaba calibrado para coincidir con los tipos espectrales y clases de luminosidad del sistema MK. Una desventaja de este sistema era que cada punto del diagrama podía corresponder a dos tipos espectrales diferentes, y era complicado distinguir entre ellos cuando D estaba cerca del máximo en las estrellas de tipo A. Para resolver este problema, Chalonge añadió un tercer parámetro que definía la temperatura de color en el continuo para el rango espectral 3800 Å - 4000 Å, pero solo funcionaba bien en estrellas sin enrojecimiento.

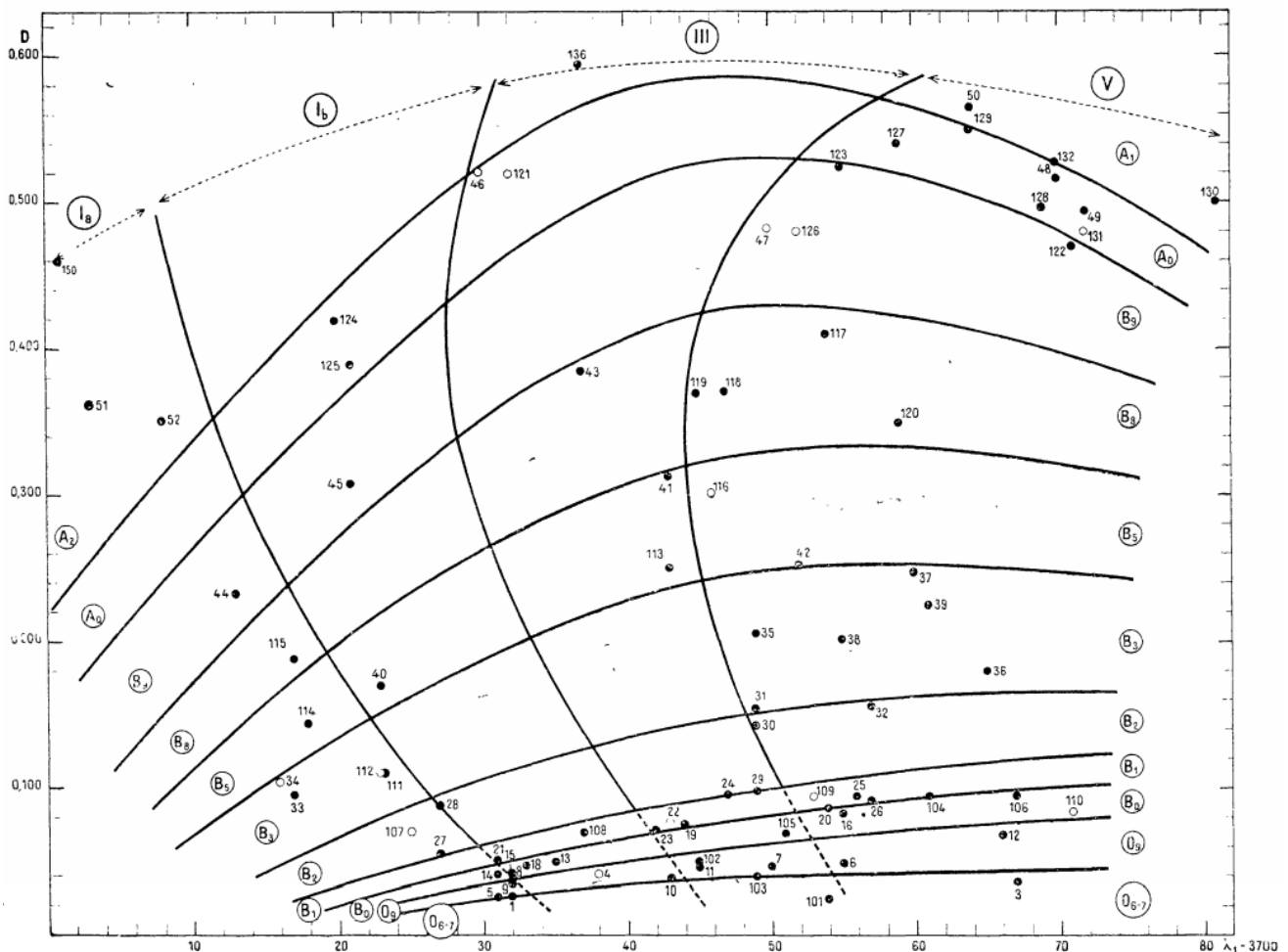


Figura 8. Diagrama (D- λ_1) de Chalonge y Divan para la determinación de tipos espectrales y clases de luminosidad.

Para los tipos más tempranos, las líneas que separan los tipos espectrales tienden a estar muy juntas al ser el salto de Balmer cada vez más pequeño, y los errores en las medidas hacen que la determinación del tipo espectral sea poco precisa. Por otro lado, el ensanchamiento rotacional de las líneas hace que la posición del salto de Balmer varíe, haciendo que la determinación de la clase de luminosidad sea también imprecisa (Kaler, J., 1963).

Al año siguiente, Margherita Hack (1953) amplió el trabajo de Chalonge y Divan cambiando el parámetro λ_1 por la intensidad de la línea H δ , pero en su diagrama de clasificación, las 4 clases de luminosidad consideradas (Ia, Ib, III y IV-V) convergían sobre el tipo espectral O9, haciendo este sistema poco útil para clasificar las estrellas más tempranas.

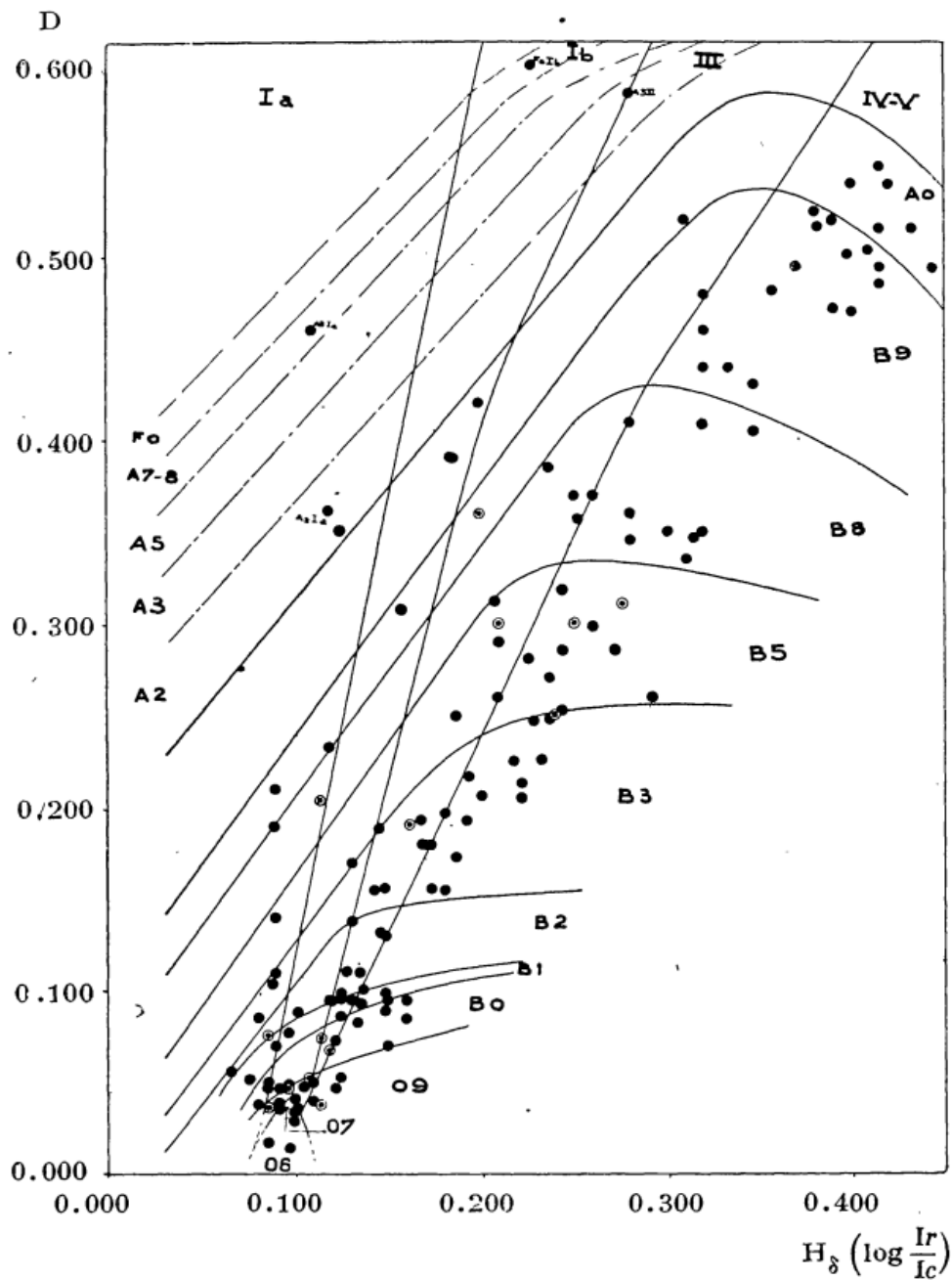


Figura 9. Diagrama (D-H δ) de Hack para la determinación de tipos espectrales y clases de luminosidad.

Otra aproximación diferente y específica para estrellas de tipo O fue la tomada por Piero Botto y Margherita Hack (1962). En su sistema de dos dimensiones usaron la proporción entre Helio neutro y Helio ionizado definida por Petrier para la determinación del tipo espectral, y propusieron tres criterios diferentes para la determinación de la clase de luminosidad: [a] anchura equivalente de $H\gamma$, [b] proporción entre la intensidad de varias líneas de C III, N III y Si IV con $H\gamma$ y $H\delta$, y [c] proporción R_c/W entre la profundidad central y la anchura equivalente de $H\gamma$. De estos tres criterios, indicaron que el primero era el más fiable al depender menos que los otros dos del tipo espectral. En su diagrama que usaba el criterio de la anchura equivalente de $H\gamma$, se podía distinguir entre las clases de luminosidad I, III y V para los tipos espectrales a partir de O8, pero solo entre I-III y V para los tipos más tempranos.

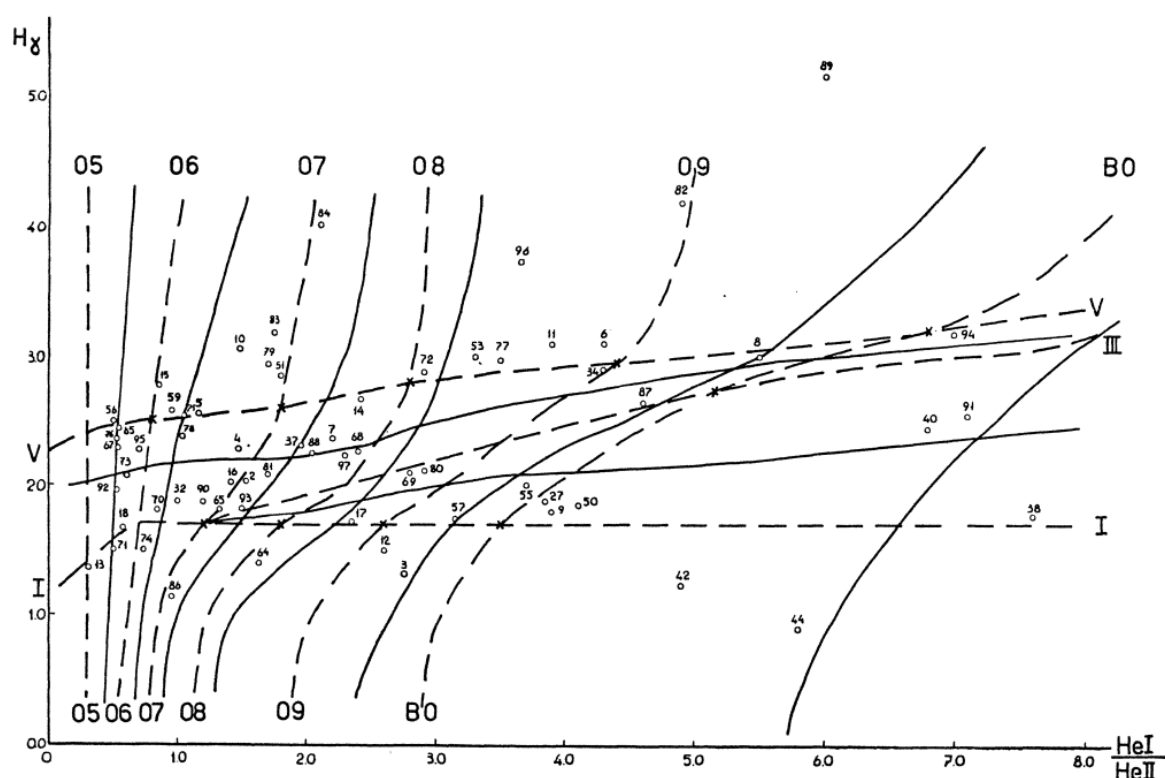


Figura 10. Diagrama de Botto y Hack para la determinación de tipos espectrales y clases de luminosidad en estrellas de tipo O.

En el sistema MKK de 1943 sólo se definen los tipos de luminosidad I y V para las estrellas O9 y I, III y V para las O9.5. Morgan y Roman (1950) publicaron una nueva lista de estándares para estrellas supergigantes en las que se subdivide el tipo I en Ia y Ib para las estrellas O9.5. Tres años después, Johnson y Morgan (1953) publicaron una revisión mayor del sistema MKK de Yerkes (pasándose a llamar desde entonces sistema MK), en la que se añadía el tipo de luminosidad II en estrellas O9 y O9.5 y se subdividía el tipo I en Ia y Ib para las estrellas O9. Ya en la década de los 70, Nolan Walborn (1971) propuso unos criterios para la clasificación de las clases de luminosidad en estrellas más tempranas que O9 a partir del análisis de espectros con el doble de resolución que los originales usados para definir el sistema MK. El criterio principal para la clase de luminosidad en estrellas de tipo O tardío son las proporciones entre Si IV 4089 Å y He I 4026 Å o 4144 Å y Si IV 4116 Å y He I 4121 Å. Para las estrellas de tipo O más tempranas, Walborn identificó el comportamiento de las líneas

He II 4686 Å y N III 4634 Å-4640 Å-4642 Å como un efecto de luminosidad. Las estrellas O con estas dos líneas en emisión ya fueron definidas como estrellas Of por Plaskett y Pearce (1931) y corresponden a las supergigantes. Los criterios para el resto de clases de luminosidad se resumen en la tabla 10.

TABLE 4
PROPOSED LUMINOSITY CLASSIFICATION FOR THE EARLY O STARS

| Luminosity Class | Criteria | Standard Stars |
|---------------------------|---|--|
| A. Spectral Types O7–O8.5 | | |
| Ia..... | Of; Si IV very strong | HD 151804, O8 Iaf |
| Ib..... | He II λ 4686 absorption weak or neutralized; Si IV strong | HD 225160, O8 Ib(f) |
| III..... | He II λ 4686 absorption and Si IV strong; He II λ 4541/He I λ 4387 greater than at V | ξ Per, O7.5 III((f)) λ Ori, O8 III((f)) |
| V..... | He II λ 4686 absorption very strong | 15 S Mon, O7 V((f)) HD 46149, O8.5 V |
| B. Spectral Types O4–O6 | | |
| I..... | Of and f ⁺ | HD 15570, O4 If ⁺ |
| III..... | He II λ 4686 absorption weak or neutralized | HD 15558, O5 III(f) |
| V..... | He II λ 4686 absorption strong | HD 46223, O4 V((f)) HD 46150, O5 V((f)) |

Tabla 10. Criterios de luminosidad propuestos por N. Walborn en 1971 para estrellas anteriores a O8.

En el mismo año, Peter Conti y William Alschuler (1971), del observatorio de Lick, presentaron independientemente un criterio de luminosidad para las estrellas O usando principalmente la proporción entre las anchuras equivalentes de Si IV 4089 Å y He I 4144 Å, aunque mencionan que ese criterio no puede ser usado para las estrellas O más tempranas puesto que esas líneas son intrínsecamente más débiles y desaparecen al aumentar la ionización.

LUMINOSITY CLASSES BASED ON
4089/4143 RATIO W'

| Log W' Limit | Luminosity Class | Log W' Limit |
|----------------|------------------|----------------|
| +0.10... .. | >V | ≥ -0.20 |
| +0.30..... | >III | $\geq +0.11$ |
| | I | $\geq +0.31$ |

Tabla 11. Criterios de luminosidad propuestos por P. Conti y W. Alschuler para estrellas entre O6.5 y O9.5

2.9. Catálogos de estrellas O

En los primeros sistemas de clasificación estelar, aparecen muy pocas estrellas masivas al ser estas muy escasas en comparación con el resto de tipos. La primera lista de estrellas O ya identificadas como las más calientes entre todos los tipos espectrales, fue la publicada por Mauri (1897), y contenía 7 estrellas del tipo I (correspondiendo en la actualidad con estrellas entre O6 y O9). Antonia Cannon (1901) juntó los tipos I y XXII de Mauri en el tipo O que contenía 12 estrellas WR (entre Oa y Oc) y 11 estrellas O (entre Od y Oe5B). Unos años después, Fleming (1912) publicó un trabajo sobre estrellas con espectros peculiares aumentando el número de estrellas WR y estrellas O hasta 133, de las cuales 91 habían sido descubiertas directamente por ella. Entre los años 1918 y 1949 se publicaron los catálogos “Henry Draper” (HD) y “extensión Henry Draper” (HDE) donde ya se contaban 122 estrellas con los tipos O, Oa, Ob y Oc (estrellas Wolf-Rayet) y 78 estrellas con los tipos Oe5, Oe y Od (actuales estrellas O en el sistema MK), lo que supone solo un 0.06% de las más de 350000 estrellas contenidas en estos catálogos.

Pero no fue hasta la década de los 50 cuando se produjo un verdadero salto cuantitativo en el número de estrellas O clasificadas. La introducción del sistema fotométrico *UBV* y su calibración en términos del sistema de clasificación espectral MK, permitió emprender estudios exhaustivos sobre la morfología de nuestra galaxia. Johnson y Morgan calcularon la magnitud absoluta de estrellas de tipo B, y desarrollaron un método para determinar el enrojecimiento de estas estrellas debido al polvo interestelar. Con estas herramientas se pudieron emprender trabajos para la determinación precisa de distancias a asociaciones OB, cúmulos abiertos y estrellas B en general, pudiendo refinar de esta manera la estructura espiral de nuestra galaxia descubierta por Morgan (1953). Todos estos estudios dieron lugar en las siguientes décadas a la publicación de varios catálogos de estrellas OB, como los de Morgan et al. (1955), Hiltner (1956), y Lesh (1968), con 304, 202 y 40 estrellas O respectivamente, que proporcionan clasificaciones originales y precisas para estrellas del Norte ($\delta > -20^\circ$) y los de Hiltner et al. (1969) y Garrison et al. (1977) con 25 y 167 estrellas O respectivamente para las del Sur. Posteriormente se publicaron catálogos con más estrellas, como los de Goy (1980) y Garmany et al. (1982), con 970 y 765 estrellas O respectivamente. Estos catálogos se construyeron compilando clasificaciones espectrales de muy diferentes fuentes, y aunque se incrementa notablemente en número de estrellas con respecto a los catálogos anteriores, no son completos ni uniformes (en el catálogo de Goy hay múltiples clasificaciones espectrales para muchas de sus estrellas y en el de Garmany et al. hay bastantes estrellas que no tienen clase de luminosidad). Reed (2003) publicó un catálogo de estrellas OB que en su versión más reciente contiene más de 1000 estrellas O, pero al igual que en catálogo de Goy, para cada estrella hay múltiples clasificaciones, y más de 500 estrellas que tienen alguna clasificación O también tienen clasificaciones de otros tipos (desde B hasta G, por ejemplo LS I +62 131 está clasificada como G I y O9 IV, o LS 3072 clasificada como A0 Ia, O9 y B2.5 Ia).

3. GOSC

En la segunda mitad del siglo XX se publicaron varios catálogos de estrellas OB que pueden agruparse en dos tipos: catálogos con clasificaciones originales pero que contienen principalmente estrellas de solo algunas agrupaciones OB, y catálogos más amplios que recopilan la información de diferentes fuentes. Los primeros fueron el resultado de las observaciones realizadas en diferentes regiones del cielo para el estudio de la estructura de nuestra galaxia, y la mayoría de sus clasificaciones espectrales se hicieron antes de la introducción de tipos espectrales O3 (Walborn 1971b) y O2 (Walborn et al., 2002). En el segundo caso, al recopilar la información de diversas fuentes, sus clasificaciones espectrales están lejos de ser uniformes y completas.

Para superar las limitaciones de los catálogos de estrellas O existentes, Jesús Maíz Apellániz (2004) publicó la primera versión del catálogo de estrellas O Galácticas (GOSC, de sus iniciales en inglés) con un enfoque diferente, incluyendo estrellas que cumpliesen las siguientes condiciones: (1) Las estrellas debían seleccionarse basándose únicamente en su espectroscopia óptica. (2) Las fuentes para la clasificación espectral debían ser precisas y tan uniformes como fuese posible. (3) Se añadiría información adicional valiosa (posiciones, fotometría, etc.) si procedía de catálogos uniformes o si se podía comprobar su exactitud. (4) El catálogo debía estar accesible a través de la Web. Esta primera versión del catálogo se construyó partiendo de las 350 estrellas O Galácticas clasificadas por Nolan R. Walborn dos o tres décadas antes utilizando espectros fotográficos, y también se incluyeron otras estrellas O conocidas con $V < 8$ con el propósito de que el catálogo fuese completo hasta esa magnitud, conteniendo un total de 378 estrellas. La lista final se subdividió en dos grupos: el catálogo principal con las 370 estrellas que no tienen compañeras WR no resueltas y el suplemento WR que añade 8 estrellas en sistemas WR + O. Para cada estrella del catálogo se proporcionaba su clasificación espectral (con las referencias correspondientes en cada caso), la astrometría (que provenía principalmente del catálogo Tycho-2), magnitudes fotométricas en el óptico (Tycho-2 B_T y V_T , Johnson UBV y Strömgren $uvby$) e infrarrojo (2MASS JHK_s), y otra información como pertenencia a agrupaciones OB y multiplicidad. Desde el primer momento, el catálogo se hace público en internet y rápidamente se convierte en la referencia principal en el estudio de las estrellas masivas, con más de 200 citas hasta la fecha (teniendo en cuenta las citas de todas las versiones publicadas).

La siguiente versión del catálogo se publicó cuatro años después (Sota, A. et al., 2008) y supuso un cambio importante en la filosofía del proyecto. Si la primera versión del catálogo contenía estrellas O con una precisión contrastada en sus clasificaciones, en la segunda versión se añadieron tres suplementos más:

- Suplemento 2: Candidatos a estrellas O Galácticas.
- Suplemento 3: Candidatos a estrellas O Galácticas con compañeras WR sin resolver.
- Suplemento 4: Estrellas tempranas confundidas alguna vez con estrellas O.

El suplemento 1, “Estrellas O Galácticas con compañeras WR sin resolver” ya estaba presente en la primera versión de GOSC. El suplemento 2 es el más amplio e incluye a todas

las estrellas que en algún momento han sido clasificadas como O, siendo la fuente principal de esta información la base de datos Simbad del CDS. También se revisan periódicamente las publicaciones aparecidas en astro-ph con estrellas clasificadas como O, que se añaden al citado suplemento. Entre los suplementos 2 y 3 se añaden 802 estrellas más (con tipos espectrales de diversos orígenes y calidades), haciendo un total de 1256 estrellas contando los del catálogo original (y sin contar el suplemento 4, que contiene estrellas de otros tipos espectrales). Esta versión serviría como catálogo de entrada para el sondeo espectroscópico de estrellas O Galácticas (GOSSS de su acrónimo en inglés), que se explica más adelante y es la base de esta tesis. En esta versión se añadió la fotometría de Cousins (*RI*) y se realizaron varios diagramas color-color para detectar posibles discrepancias.

En el año 2007 se empezaron a hacer las primeras observaciones de GOSSS, y al analizar los espectros se vio que una fracción significativa de las estrellas añadidas en la segunda versión de GOSC originalmente clasificadas como de tipo O eran en realidad estrellas B tempranas o incluso de tipo posterior. Por otro lado, en Sota et al. (2011) se introdujo el subtipo espectral O9.7 para las clases de luminosidad V a III y, en consecuencia, se ajustaron los criterios de clasificación espectral para las estrellas O tardías y B tempranas. Esas dos cuestiones llevaron a modificar nuestra política con respecto a la adición de nuevas estrellas a GOSC: Se dejaron de añadir nuevas estrellas a la versión pública y en su lugar se creó una versión privada que actualmente tiene más de 4000 objetos adicionales y se utiliza para generar la muestra de GOSSS. Manteniendo esa versión privada se pretende reducir el ruido (en forma de clasificaciones espectrales de mala calidad).

Con estos nuevos criterios, en 2013 se publicó la tercera versión del catálogo (Maíz Apellániz et al. 2013). En esta versión, las clasificaciones espectrales están basadas por completo en las observaciones de GOSSS, y se incluían las 449 estrellas O que habían sido publicadas en los artículos que componen esta tesis (Sota et al. 2011 y 2014). En el año 2016 se publica un nuevo bloque de espectros de GOSSS, aumentando el número de estrellas del catálogo hasta las 590 actuales (Maíz Apellániz et al. 2016). Así mismo, se han añadido columnas adicionales con tipos espectrales alternativos y fotometría *B* y *J* aproximada (B_{ap} , J_{ap}) para todas las estrellas. La mayoría de los valores J_{ap} se toman de 2MASS con algunas excepciones. Los valores de B_{ap} son de Tycho-2 o Johnson y, en general, son menos uniformes que los J_{ap} . Todos los valores se han redondeado hasta una décima de una magnitud para no sobrestimar su exactitud.

La última versión pública del catálogo contiene las siguientes listas de estrellas observadas en GOSSS y confirmadas:

- Catálogo principal: Estrellas O Galácticas, con 590 estrellas.
- Suplemento 1: Estrellas O Galácticas con compañeras WR sin resolver.
- Suplemento 2: Otras estrellas de tipos tempranos.
- Suplemento 3: Estrellas tardías que alguna vez han sido clasificadas como estrellas O, con 11 estrellas.
- Suplemento 4: Estrellas masivas extragalácticas.

La versión privada del catálogo contiene los siguientes suplementos con estrellas observadas y confirmadas, pero aún sin publicar en la serie de artículos de GOSSS (suplementos 5, 6, 7, 8 y 9), y candidatos aun sin observar (suplementos 10, 11, 12 y 13):

- Suplemento 5: Estrellas O Galácticas, con 301 estrellas.
- Suplemento 6: Estrellas O Galácticas con compañeras WR sin resolver, con 69 estrellas.
- Suplemento 7: Otras estrellas de tipos tempranos, con 1100 estrellas.
- Suplemento 8: Estrellas tardías que alguna vez han sido clasificadas como estrellas O, con 240 estrellas.
- Suplemento 9: Estrellas masivas extragalácticas, con 48 estrellas.
- Suplemento 10: Candidatos a estrellas de tipos tempranos, con 4026 estrellas.
- Suplemento 11: Candidatos a estrellas de tipos tardíos, con 790 estrellas.
- Suplemento 12: Candidatos a estrellas masivas extragalácticas, con 24 estrellas.
- Suplemento 13: Compañeras probablemente sin resolver en GOSSS, con 347 estrellas.
- Suplemento 3: Candidatos a estrellas O Galácticas con compañeras WR sin resolver, con 11 estrellas.
- Suplemento 4: Estrellas tempranas confundidas alguna vez con estrellas O.

En las próximas ampliaciones del catálogo se irán incluyendo las estrellas O ya observadas en GOSSS y confirmada su clasificación. A la fecha de presentar esta tesis, el número total de estrellas O observadas en GOSSS asciende a más de 900 (estrellas del catálogo principal, y de los suplementos 1, 5 y 6).

4. El sondeo de estrellas O Galácticas (GOSSS)

4.1 Introducción

En Maíz Apellániz et al. (2004), se presentó la primera versión del catálogo de estrellas O Galácticas (GOSC de su acrónimo en inglés), que se ha descrito en la sección anterior. GOSC fue ampliado posteriormente (versión 2) por Sota et al. (2008), añadiendo ~ 1000 estrellas que tenían al menos una clasificación espectral en la literatura que las identificaba como estrellas O. Como revelaba rápidamente la versión en línea de GOSC v2, lamentablemente existía una gran disparidad en las clasificaciones espectrales de la literatura para las estrellas allí catalogadas. Algunas de las discrepancias se debían a diferentes resoluciones espectrales o relaciones señal/ruido (S/R), otras a la variabilidad en las estrellas (siendo las binarias espectroscópicas las principales culpables) y otras a errores o criterios diferentes entre los clasificadores. Es importante corregir esta situación, no solo por el análisis de estrellas individuales, sino también porque el uso de clasificaciones espectrales inconsistentes o incorrectas puede conducir a errores en la determinación de parámetros estadísticos, como la función inicial de masas para estrellas masivas, o el número total de fotones ionizantes en la galaxia.

Así nació en 2007 la idea para el sondeo espectroscópico de estrellas O Galácticas (GOSSS de su acrónimo en inglés), un proyecto cuyo objetivo principal es obtener nuevas clasificaciones espectrales de al menos todas las estrellas O Galácticas más brillantes de $B=13$. Desde entonces, estamos obteniendo clasificaciones utilizando nuevos espectros de alta S/R y calidad uniforme, en el rango azul-violeta, con una resolución media $R \sim 2500$, y homogéneamente procesados y clasificados de acuerdo con estándares bien definidos. El sondeo se describe en Maíz Apellániz et al. (2010).

En paralelo a GOSSS, otros cuatro sondeos (OWN, IACOB, NoMaDS y CAFÉ-BEANS) están obteniendo espectroscopía óptica de alta resolución de una submuestra de estrellas O Galácticas. OWN (Spectroscopic survey of Galactic O and WN stars), un sondeo de monitoreo espectroscópico de alta resolución de las estrellas Galácticas de tipo O y WN del Sur, está obteniendo espectroscopía de múltiples épocas con el objetivo de detectar binarias, determinar sus órbitas y derivar sus parámetros físicos (Barbá et al., 2010). La detección de binarias espectroscópicas (SB) juega un papel importante en esta tesis y se describe en la sección 4.4.4. IACOB (IAC OB spectroscopic survey) está obteniendo espectroscopía de estrellas brillantes de tipo OB del Norte (mínimo de tres épocas) con el objetivo de derivar sus parámetros físicos (Simón-Díaz et al. 2011b, 2011c). NoMaDS (Northern Massive Dim Stars survey) es una extensión de IACOB a estrellas más débiles en el hemisferio Norte (Maíz Apellániz et al., 2012; Pellerin et al., 2012). CAFÉ-BEANS (Calar Alto Fiber-fed Echelle Binary Evolution Andalusian Northern Survey), la última incorporación al grupo, es la contraparte Norte del estudio de las estrellas SB2 Sur por OWN usando el espectrógrafo CAFÉ en el telescopio de 2.2 m de Calar Alto. En conjunto, los cinco sondeos tienen el objetivo de proporcionar la visión más completa hasta la fecha de las estrellas O Galácticas con espectroscopía óptica, estudiando su pertenencia, binariedad espectroscópica, medio

interestelar intermedio, distribución espacial y función inicial de masa a unos pocos kpc del Sol. Otro sondeo complementario se centra en obtener imágenes de alta resolución espacial de estrellas masivas para estudiar su binariedad visual (Maíz Apellániz 2010). Este sondeo utilizó inicialmente solo el instrumento de "Lucky Imaging" AstraLux Norte en el telescopio de 2.2 m de Calar Alto, pero se extendió al hemisferio Sur utilizando su contraparte AstraLux Sur en el New Technology Telescope (NTT) de 3.5 m en La Silla.

¿Qué tan oportuno y factible es ese proyecto? Por un lado, estamos en una mejor posición para hacerlo que cuando se intentaron hacer sondeos similares en los años 60 y 70: hay más telescopios, mejores detectores, software de reducción de datos mejorado y bases de datos de referencia mucho más grandes. Además, muchos de los objetos son relativamente brillantes, lo que hace que el proyecto sea accesible para telescopios de clase de 1-4 m. Por otro lado, tal proyecto aún representa un esfuerzo grande y complicado, con los objetos dispersos a lo largo del plano galáctico en los dos hemisferios y que requieren cientos de noches de observación. Además, dado que la mayoría de los campos incluyen ninguna o solo unas pocas estrellas O adicionales dentro de $\sim 10'$ del objeto principal, el uso de espectrógrafos de fibra sería un desperdicio de recursos y una complicación para homogeneizar los datos de diferentes observatorios. Por lo tanto, el proyecto se está llevando a cabo utilizando espectrógrafos de rendija larga.

Los resultados de esta tesis se han publicado en dos artículos. En Sota et al. (2011), se presentó (1) una visión general del proyecto, (2) un atlas de las estándares de clasificación espectral azul-violeta en $R \sim 2500$ de ambos hemisferios que serán la base del resto del sondeo, y (3) una biblioteca espectral con estrellas O sin compañeras Wolf-Rayet (WR) y con declinaciones mayores que -20° . La mayoría de las estrellas son de Maíz Apellániz et al. (2004), agregándose alguna para lograr la completitud para $B=8.0$ o debido a su presencia en la misma rendija que otras estrellas O. El límite de declinación está fijado por la accesibilidad de nuestros observatorios del Norte, pero resulta ser un valor útil porque divide los números del catálogo original en dos partes casi iguales. En Sota et al. (2014) se complementa la parte (3) para declinaciones menores a -20° . Algunas de las clasificaciones proporcionadas en Sota et al. (2011) fue revisada en Sota et al. (2014) por diversos motivos, siendo los principales el haber podido resolver sistemas SB2, la definición del tipo O9.2, y la redefinición del tipo O9.7. Entre esos dos artículos, se presentaron espectros para 448 estrellas O Galácticas.

4.2 Descripción del sondeo. Datos y métodos.

4.2.1 Espectroscopía azul-violeta con $R \sim 2500$.

El objetivo principal de GOSSS es obtener espectros en la región azul-violeta con una alta relación S/R (200-300) de todas las estrellas O con magnitud $B < 13$, con un alto grado de uniformidad y $R \sim 2500$. Dadas esas condiciones, nuestro primer paso fue seleccionar los telescopios e instrumentos con los cuales llevar a cabo el sondeo. Para la parte Norte del sondeo, nos decidimos por el espectrógrafo Albireo en el telescopio de 1.5 m del Observatorio de Sierra Nevada (OSN), que puede alcanzar estrellas de hasta $\delta = -20^\circ$. Para la parte Sur del sondeo ($\delta < -20^\circ$), elegimos el espectrógrafo Boller & Chivens en el telescopio du Pont de 2.5 m del Observatorio Las Campanas (LCO). El telescopio du Pont puede alcanzar unos valores de S/R deseados para las estrellas más débiles de la muestra dentro de un tiempo de integración total razonable (aproximadamente 1 hora), pero en el norte el telescopio de 1.5 m del OSN requiere tiempos de exposición significativamente más largos, lo que compromete la calidad de los espectros debido a la estabilidad requerida del instrumento. Por lo tanto, las estrellas más tenues ($B > 11$) en la parte Norte del sondeo se observaron con el espectrógrafo TWIN del telescopio de 3.5 m del Observatorio de Calar Alto (CAHA, Centro Astronómico Hispano Alemán) y el espectrógrafo ISIS en el Telescopio William Herschel de 4.2 m (WHT) en el Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM). Además, dado que la calidad de imagen (seeing + telescopio + instrumento) generalmente es mejor con ISIS y TWIN que con Albireo en el OSN, algunas de las estrellas brillantes del norte con compañeras cercanas se observaron con esos instrumentos para separar mejor espacialmente los dos espectros.

Las características de las cuatro configuraciones se muestran en la Tabla 12. Usamos observaciones de las mismas estrellas con dos o tres de los telescopios para verificar la uniformidad de los datos. La resolución espectral de nuestras observaciones del OSN y LCO, medida a partir de los espectros de arcos, resultó ser muy similar y estable de una noche a otra: $R_{4500} = 4500 \text{ \AA} / \Delta\lambda = 2500 \pm 100$ siendo $\Delta\lambda$ el FWHM de las líneas de emisión de la lámpara de calibración casi constante en todo el rango de longitud de onda con un valor de 1.8 \AA . Para nuestros datos de CAHA, la resolución espectral fue algo mayor ($R_{4500} \sim 3000$, $\Delta\lambda \sim 1.5 \text{ \AA}$) y con una dependencia diferente de la longitud de onda. Con el fin de proporcionar una biblioteca espectral uniforme, se aplicó un filtro de suavizado a los datos CAHA para lograr un $\Delta\lambda$ constante igual a 1.8 \AA para todo el rango espectral. En las observaciones con ISIS en el WHT, se hicieron observaciones con dos anchuras de rendija. En la más ancha se obtenía $R_{4500} = 2500$ (similar a los otros observatorios), y en la más estrecha se maximizaba la resolución para poder detectar más fácilmente las binarias espectroscópicas.

| Telescopio | Espectrógrafo | Red | Escala espectral | Escala espacial | Rango |
|---------------------|------------------|--------|------------------|-----------------|-----------|
| | | (l/mm) | (Å/pix) | (" /pix) | Å |
| OSN 1.5 m | Albireo | 1800 | 0.62 | 0.83 | 3750–5070 |
| LCO 2.5 m (du Pont) | Boller & Chivens | 1200 | 0.80 | 0.71 | 3900–5500 |
| CAHA 3.5 m | TWIN (blue arm) | 1200 | 0.55 | 0.58 | 3930–5020 |
| ORM 4.2 m (WHT) | ISIS (blue arm) | 600 | 0.44 | 0.20 | 3900–5600 |

Tabla 12. Telescopios, instrumentos y configuraciones usadas.

Los datos de esta tesis se obtuvieron entre 2007 y 2013. Para las binarias espectroscópicas SB2 y SB3, se obtuvieron múltiples épocas para observar las diferentes fases de la órbita. En la mayoría de los casos con órbitas conocidas, se intentaron realizar observaciones cerca de cuadratura.

Para reducir la gran cantidad de datos de GOSSS, se escribieron unas rutinas en IDL. Este datoducto aplica primero el Bias y el Flat, y calcula una máscara para eliminar rayos cósmicos y defectos cosiméticos. En segundo lugar, los datos se calibran en longitud de onda y se colocan en el sistema de reposo de la estrella. En tercer lugar, se identifican y extraen la(s) estrella(s) en cada exposición de rendija larga. Luego, los espectros de diferentes exposiciones (tres o cuatro por objetivo) se combinan y el espectro final se rectifica. El datoducto puede ejecutarse en (1) un modo totalmente automático que suele ser lo suficientemente bueno para una vista rápida en el telescopio o (2) un modo interactivo que permite ajustar algunos parámetros como el cálculo de la máscara o la rectificación del espectro. En el apéndice 1 se explican con algo más de detalle las rutinas del datoducto.

Un caso especial en la reducción es el de pares cercanos con pequeñas diferencias de magnitud (Δm). Para esos sistemas, alineamos la rendija paralela a la línea que une las dos estrellas para incluir ambas y usamos una rutina de IDL hecha a medida, derivada del código MULTISPEC (Maíz Apellániz 2005) para deconvolucionar los dos perfiles espaciales y extraer los espectros de las dos estrellas. En la Figura 11 se muestra un ejemplo. El procedimiento funciona muy bien para separaciones grandes, pero se vuelve cada vez más difícil para valores pequeños, especialmente si Δm es grande o el seeing está degradado. El par más cercano para el que pudimos extraer espectros separados gracias a la excelente condición de seeing fue HD 17 520 AB ($\Delta m \approx 0.7$ mag) con una separación de 0.316" (Maíz Apellániz 2010). Por otro lado, no pudimos separar σ Ori AB, que actualmente tiene una separación ligeramente menor (0.260") pero un Δm significativamente mayor (≈ 1.6 mag; Maíz Apellániz 2010). Como se mostrará más adelante, el uso de tal técnica de deconvolución es la razón de los mayores cambios en las clasificaciones espectrales en esta tesis con respecto a trabajos anteriores.

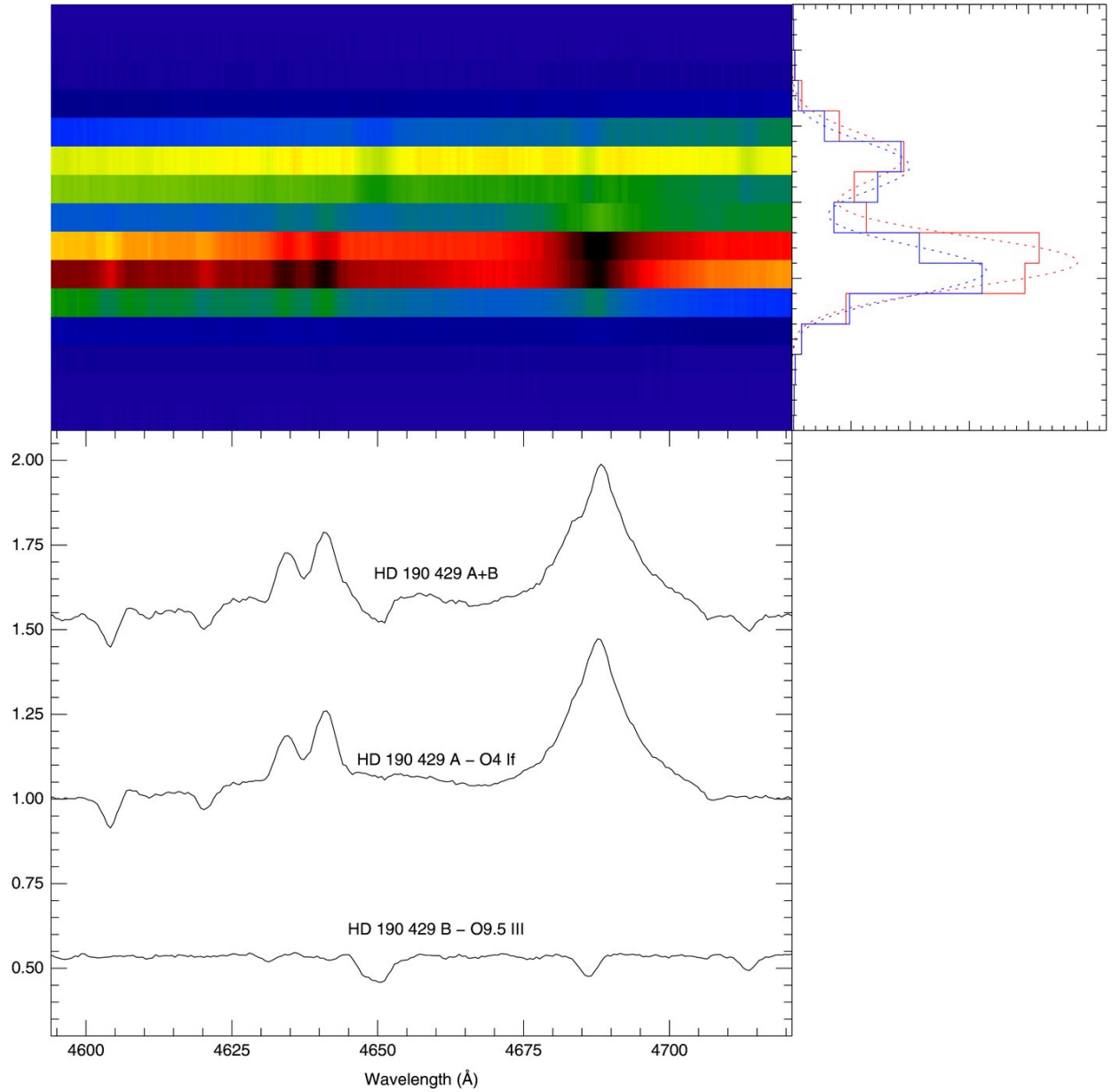


Figura 11. Arriba a la izquierda: representación en falso color de una parte de una exposición de GOSSS de rendija largas de HD 190 429 A + B. La dirección espectral es casi paralela al eje x. La componente inferior (más brillante) es A y la componente superior (más débil) es B. Superior derecho: cortes de intensidad espacial para dos longitudes de onda diferentes (una en rojo y otra en azul) para los datos en el panel superior izquierdo. Las líneas de puntos muestran el ajuste de las dos componentes a los datos. Abajo: espectro extraído rectificado para cada componente y para la suma de los dos. Los continuos están todos normalizados al valor del componente A ($\Delta B_{Ty} = 0.679$ mag). Obsérvese la apariencia de las absorciones de C III $\lambda 4647-50-51$ y He I $\lambda 4713$ y el cambio en el perfil He II $\lambda 4686$ para el espectro A + B en comparación con el del componente A.

Los datos de cada observatorio cubren rangos de longitud de onda ligeramente diferentes (Tabla 12). Los espectros que se muestran en esta tesis han sido cortados para mostrar el mismo rango espectral.

Las clasificaciones espectrales que son el contenido principal de este documento se presentan en la tablas 19. Se proporcionan el tipo espectral de GOSSS para todos los objetos y en aquellos casos en que se ha obtenido un tipo espectral alternativo utilizando mejor resolución espectral o espacial que GOSSS, la incluimos en la siguiente columna. La metodología de clasificación se presenta en la Sección 4.3.1, las estrellas individuales se discuten en las Secciones 4.3.2 y 4.3.3 y las estadísticas sobre los tipos espectrales en la Sección 4.4.3.

4.2.2 Datos complementarios, nomenclatura y catalogación

Dos problemas que han complicado la clasificación espectral de las estrellas masivas en el pasado son (1) la presencia de compañeras cercanas resueltas que pueden o no contribuir al espectro primario observado dependiendo de la diferencia de magnitud, separación, orientación de la rendija y seeing; y (2) la identificación errónea de componentes en sistemas múltiples. Se sabe que ambos problemas son la fuente de algunas discrepancias entre las clasificaciones espectrales de la literatura del mismo objeto.

Para corregir esos dos problemas tanto como sea posible, utilizamos dos estrategias. Por un lado, analizamos imágenes de alta resolución para identificar y medir las diferencias de magnitud de las compañeras cercanas. Para la parte Norte del sondeo, esto se hizo con observaciones de Lucky-Imaging de la cámara AstraLux en el telescopio de 2.2 m de CAHA, y con imágenes del Telescopio Espacial Hubble (HST) (programas GO 10602 y 11981, PI: Maíz Apellániz, y datos de archivo). Los primeros resultados aparecieron en Maíz Apellániz (2010) y han sido utilizados aquí. Para la parte Sur del sondeo, utilizaremos, entre otros, imágenes del HST de los programas 10205 (PI: Walborn), 10602 y 10898 (PI: Maíz Apellániz). Por otro lado, buscamos en la literatura resultados similares a los obtenidos con AstraLux (p. Ej., McCaughrean y Stauffer 1994; Duchêne et al., 2001; Mason et al., 1998, 2009; Turner et al., 2008; Bouy et al., 2008) y representamos la información de Simbad utilizando imágenes de Aladin (Bonnarel et al., 2000) para asegurar la correcta identificación de las fuentes. Para minimizar posibles confusiones futuras, proporcionamos cartas para algunos casos específicos (ver Figura 33). Hemos seguido la nomenclatura de los componentes del Washington Double Star Catalog (Mason et al., 2001).

En algunos casos, la información derivada de las fuentes anteriores nos permitió determinar si dos o más componentes visuales están espacialmente sin resolver en nuestros datos. Consideramos que una componente secundaria es capaz de modificar significativamente el tipo espectral si $|\Delta B| \leq 2.0$. En tales casos, incluimos en el nombre de la estrella las dos componentes (por ejemplo, Pismis 24-1 AB o HD 93 129 AaAb); para valores más grandes de $|\Delta B|$ la componente secundaria no está incluido en el nombre. Cuando podemos resolver espacialmente una componente cercana y extraer su espectro independientemente del principal, incluimos el nombre del componente en cada caso (por ejemplo, HD 218 195 A) incluso si $|\Delta B|$ es más grande de 2.0.

4.2.3 Binarias espectroscópicas

GOSSS tiene capacidades de detección limitadas para las binarias espectroscópicas debido a su resolución espectral relativamente baja y al pequeño número de épocas utilizadas (de una a dos en la mayoría de los casos). Por esas razones, los datos de OWN (Barbá et al., 2010) son más apropiados para detectar y estudiar binarias espectroscópicas. OWN está utilizando espectrógrafos de alta resolución en Las Campanas, La Silla y CASLEO para monitorear (a partir de 2013) 284 estrellas O y WN visibles desde esos observatorios. De ellas, 168 (1) están clasificadas como estrellas O en datos de GOSSS, (2) están incluidos en los objetivos de GOSSS, (3) tienen $\delta < -20^\circ$ y (4) tienen al menos cinco épocas analizadas. Esto constituye la muestra de binarias espectroscópicas Galácticas de tipo O más grande y uniforme jamás estudiada. En muchos casos, OWN han descubierto nuevas binarias espectroscópicas que se presentan como tales en la Sección 4.3.2.8. En la sección 4.4.4 identificamos las nuevas binarias y usamos esa información para analizar la multiplicidad de las estrellas O. Un documento en preparación (R. H. Barbá et al.) presentará las órbitas.

La información de la binariedad espectroscópica se resume en la columna SB de la tabla 19. Hemos omitido el calificador "O" (órbita) por simplicidad y porque nuestro principal interés en esta tesis son las estadísticas de multiplicidad, no las órbitas. La fuente principal utilizada para la columna SB es OWN, seguida de las referencias enumeradas en la parte inferior de la tabla. La mayoría de esas referencias se usan solo para una o dos estrellas, con la excepción de Sana et al. (2008, 2011a) con 26 estrellas. Cuando las 26 estrellas O con $\delta < -20^\circ$ se agregan a la muestra de OWN, obtenemos una muestra de 194 estrellas para la que se ha estudiado en detalle la binariedad.

También hemos utilizado la serie de artículos de Otero et al. (Otero 2003, 2006, 2007; Otero y Claus 2004; Otero y Wils 2005) para incluir información sobre binarias eclipsantes. Finalmente, cuando no había ninguna fuente alternativa disponible, recurrimos a las compilaciones más antiguas de Mason et al. (1998) y Pourbaix et al. (2004) para incluir información adicional.

4.2.4 Binarias visuales

Hemos incluido algunas de las imágenes de Maíz Apellániz (2010) de AstraLux Norte en la Figura 33. También hemos extendido el sondeo de Lucky Imaging hacia el Sur con AstraLux Sur. Para 12 campos complejos de los que no tenemos imágenes de Lucky Imaging, presentamos imágenes del sondeo Two Micron All Sky Survey (2MASS) con identificaciones. Estos campos incluyen seis sistemas múltiples y sus alrededores (HD 93 146, HD 93 632, HD 92 206, HD 124 314, HD 150 136 y HDE 319 703), cuatro cúmulos estelares clásicos (Trumpler 14, NGC 6231, Havlen-Moffat 1, y Pismis 24), una asociación OB (IC 2944) y un objeto intermedio entre cúmulo y asociación (Trumpler 16).

En la columna VB de la Tabla 19, damos la cantidad de acompañantes visuales detectadas dentro de 5" y 10" del objeto principal separados por un guion. Cuando todas las compañeras están dentro de los 5", se da un número único. Dada la ausencia de un sondeo a gran escala de Lucky Imaging u óptica adaptativa, la información sobre multiplicidad visual se recopila en primer lugar combinando la información del Washington Double Star Catalog

(WDS; Mason et al., 2001, más completa para las compañeras dentro de 5") y el catálogo de fuentes puntuales 2MASS (Skrutskie et al., 2006, más completo en algunos casos para acompañantes más lejanas de 5"). También hemos buscado en la bibliografía (por ejemplo, Nelan et al., 2004; Mason et al., 2009; E. J. Aldoretta et al., 2015) para obtener datos adicionales. Para algunos campos seleccionados con exposiciones no saturadas de ACS/HRC y WFPC2 de los programas HST GO 10 205 (PI: NRW), 10 602, 10 898 y 11 981 (PI: JMA) también hemos usado esas imágenes para complementar la información en sistemas visuales múltiples.

4.2.5 Distancias y catálogo

Con respecto a las distancias, se presentan las distancias revisadas de Hipparcos de Maíz Apellániz et al. (2008a) siempre que sean significativas.

Los tipos espectrales están disponibles a través de la última versión en línea de GOSC (<https://gosc.cab.inta-csic.es/>). A partir de la versión 3, los tipos espectrales de GOSSS son los predeterminados, aunque las clasificaciones más antiguas y las obtenidas con espectros de alta resolución también se mantienen como posibles columnas adicionales. La fotometría B y J también se proporciona en GOSC para todas las estrellas (para más detalles, véase Maíz Apellániz et al. 2013), utilizamos B_{ap} y J_{ap} , respectivamente, para referirnos a la fotometría en GOSC, donde "ap" se refiere a aproximada y está destinado a ser significativo solo a una décima de magnitud. Los espectros rectificadas de GOSSS también pueden obtenerse de GOSC como tablas FITS.

Los tipos espectrales de GOSSS se pusieron a disposición por primera vez en GOSC en junio de 2013 como parte de GOSSS Data Release 1.0 (GOSSS-DR1.0, Sota et al., 2013), justo a tiempo para el congreso "Massive Stars: From α to Ω " que tuvo lugar en Rodas, Grecia en ese momento. Los tipos espectrales en esta tesis son en algunos casos revisiones leves (sobre todo sufijos que se omitieron o se agregaron por error) a los de GOSSS-DR1.0 y constituyen GOSSS-DR1.1.

4.2.6 Metodología de la clasificación espectral

La clasificación espectral según el proceso Morgan-Keenan (MK) se lleva a cabo mediante (1) la selección de una malla bidimensional (tipo espectral y clase de luminosidad) de estrellas estándar; (2) comparando el espectro desconocido con esa malla, en términos de las relaciones de línea que definen los diferentes subtipos; y (3) eligiendo el espectro estándar que más se parezca al espectro desconocido, si es necesario, anotando cualquier anomalía, como líneas ensanchadas o discrepancias entre las diferentes proporciones de línea en comparación con las estándares. Las categorías de clasificación son discretas, mientras que los fenómenos son continuos, por lo que pueden requerirse interpolaciones o compromisos en algunos casos, que deben tenerse en cuenta.

Muchas de las estrellas que seleccionamos como estrellas estándar para esta tesis se han utilizado previamente como tales, en algunos casos volviendo a la definición original de los subtipos O. Sin embargo, en otros casos notamos inconsistencias que nos hicieron revisar la clasificación espectral, o encontramos otras definiciones superiores de la categoría entre nuestra muestra ampliada, como se detalla en la siguiente sección. Para la comparación entre los espectros desconocidos y los estándares usamos MGB, un código de IDL desarrollado por Jesús Maíz Apellániz que superpone los dos espectros (objetivo y estándar) y permite al usuario cambiar fácilmente de una estándar a otra. MGB también permite al usuario ensanchar artificialmente los espectros estándar para medir el ensanchamiento de las líneas y también combinar dos espectros estándar ajustando sus velocidades y fracción de flujo para analizar binarias espectroscópicas (ver la Figura 12 para dos ejemplos).

Un aspecto importante a tener en cuenta es que la clasificación espectral está sujeta a los efectos de la resolución espectral, espacial y temporal, así como de la S/R. Por ejemplo, una SB2 puede permanecer sin detectarse sin una resolución adecuada o cobertura temporal, posiblemente produciendo líneas anormalmente anchas debido a las mezclas de los espectros; en otros casos, algunas líneas de absorción pueden ser demasiado débiles para ser detectadas, por ejemplo, He II $\lambda 4542$ en las Bo. En otros casos, una binaria visual cercana puede tener espectros compuestos históricos (por lo tanto, clasificaciones y/o peculiaridades espectrales intermedias) que no se pueden separar hasta que se pueda obtener espectroscopia resuelta espacialmente. Tales limitaciones son una de las razones más importante para las clasificaciones espectrales discrepantes en la literatura. Como se describió previamente, estamos tomando medidas para minimizar dichos efectos (por ejemplo, obtener espectroscopía de múltiples épocas para las SB2 conocidas y para descubrir nuevas), pero es imposible eliminarlos por completo. Esa es una de las razones por las que publicamos no solo los tipos espectrales, sino también los espectros originales, ya que permiten la comparación con resultados pasados o futuros. En ese sentido, hemos buscado en la literatura espectros que pueden estar en conflicto con nuestras clasificaciones (debido, por ejemplo, a una mejor resolución temporal o espectral) y hemos analizado esos casos.

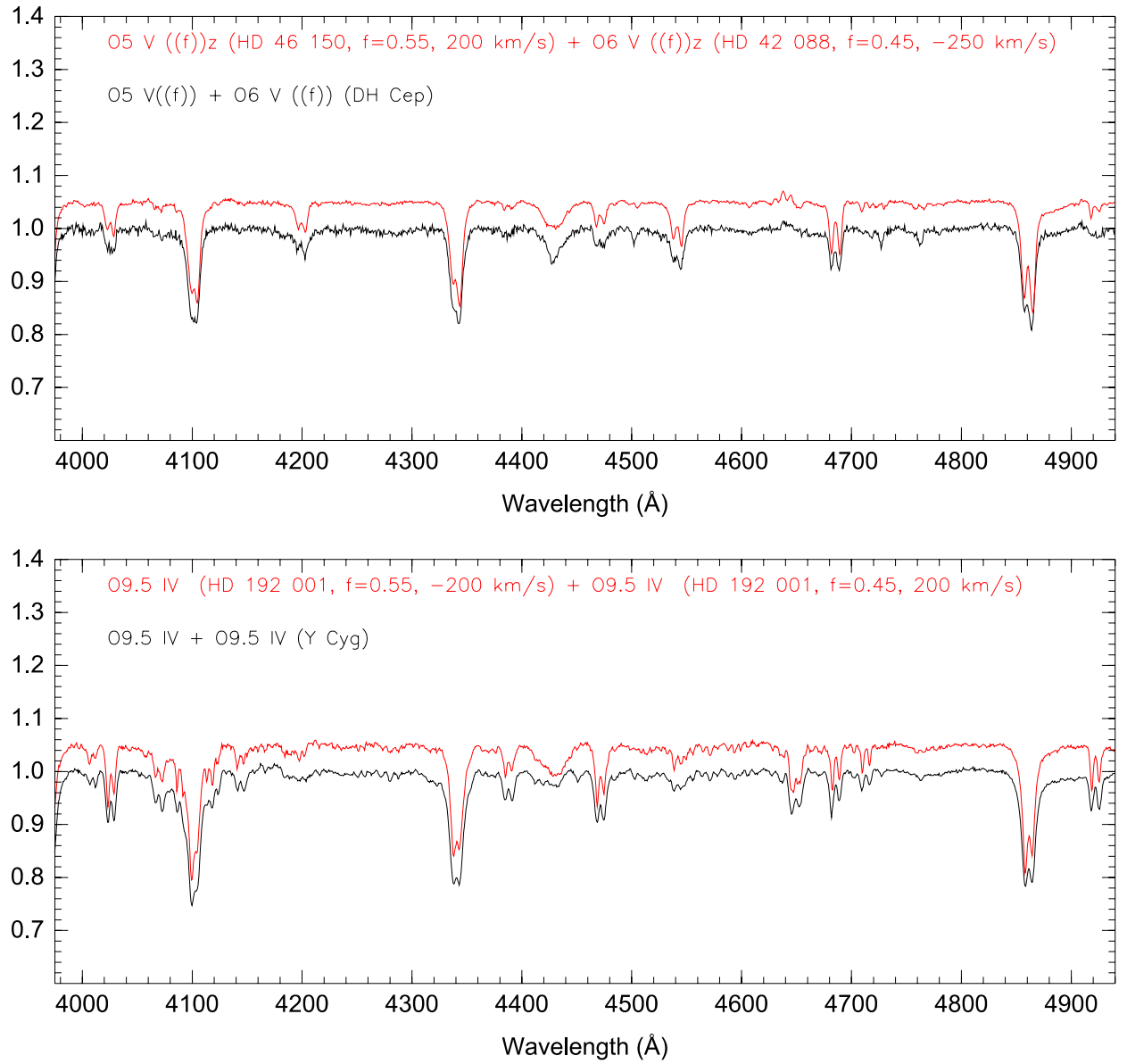


Figura 12. Dos ejemplos de clasificaciones espectrales de binarias espectroscópicas de doble línea utilizando MGB. La línea inferior (negra) muestra el espectro a clasificar y la línea superior (roja) la combinación lineal de las dos estándares. La fracción de flujo y la velocidad de cada estándar se indican junto con su tipo espectral.

En Sota et al. (2011) se definieron los criterios para la clasificación espectral usados en esta tesis, y en Sota et al. (2014) se añadieron tres desarrollos adicionales. Primero, se revisaron los sufijos relacionados con el fenómeno f (emisión N III $\lambda\lambda 4634-40-42$ y absorción/emisión de He II $\lambda 4686$) de acuerdo con la Tabla 13, después de haber encontrado algunas discrepancias menores en Sota et al. (2011). Se puede ver el significado del sufijo en la tabla 15.

| Sp. Type | ((f)) | (f) | f |
|----------|-------|--------|--------|
| O2-O5.5 | V | III | I |
| O6-O6.5 | V-IV | III-Ib | Iab-Ia |
| O7-O7.5 | V-III | II-Ib | Iab-Ia |
| O8 | V-II | Ib | Iab-Ia |
| O8.5 | V-II | Ib-Iab | Ia |

Tabla 13. Clases de luminosidad para el fenómeno f como función del tipo espectral

En segundo lugar, se recalibró el fenómeno z, definido por la relación entre los anchos equivalentes de He I $\lambda 4471$, He II $\lambda 4542$ y He II $\lambda 4686$ en nuestras estrellas estándar de secuencia principal. Se define z como:

$$z = \frac{EW(\text{He II } \lambda 4686)}{\text{Max}[EW(\text{He I } \lambda 4471), EW(\text{He II } \lambda 4542)]} \quad (1)$$

y se añade el sufijo z en la clasificación cuando $z \geq 1$. Esta recalibración se ha explicada en detalle por Arias et al. (2016) y se ha aplicado a los resultados en esta tesis. En tercer lugar, se ha introducido un nuevo subtipo espectral, O9.2, que se describe en la sección 4.3.1.4

4.3 Resultados

Esta sección constituye el cuerpo principal de esta tesis y está dividida en tres partes. Primero, se presenta el nuevo atlas de estrellas estándar O y los desarrollos de clasificación espectral asociados. En segundo lugar, se presenta brevemente las características notables de algunos de los miembros de las categorías peculiares (Ofc, ON/OC, Onfp, Of?p, Oe, Of/WN, O Iafpe, SB2+SB3). Finalmente, hacemos lo mismo con las estrellas O normales en la muestra completa.

4.3.1 Atlas y desarrollos

Una revisión histórica y técnica del sistema de clasificación espectral actual para las estrellas OB fue dada por Walborn (2009a). Debido a la calidad y cantidad sin precedentes del conjunto de datos actual, se presentan varios desarrollos sistémicos y revisiones para las estrellas O en el presente trabajo, que sustituyen a los procedimientos anteriores y se describen aquí. Las estándares de clasificación se enumeran en la Tabla 14, y se presenta un nuevo atlas espectral extenso en las Figuras 13-21; las primeras cuatro figuras proporcionan secuencias de tipo espectral en clases de luminosidad fija, mientras que las últimas cinco son secuencias de clase de luminosidad en tipos espectrales fijos (con algunas excepciones debido a posiciones no representadas en la muestra actual). Este atlas reemplaza al de Walborn y Fitzpatrick (1990) para los tipos espectrales O. Una lista de calificadores para tipos espectrales O se proporciona en la Tabla 15.



Figura 13. Atlas de espectros digitales rectificados y de intensidad lineal para estrellas O Galácticas con luminosidad de clase I. En esta y las siguientes figuras, el eje “y” se etiqueta en unidades de continuo y los espectros se desplazan verticalmente para una correcta visualización.

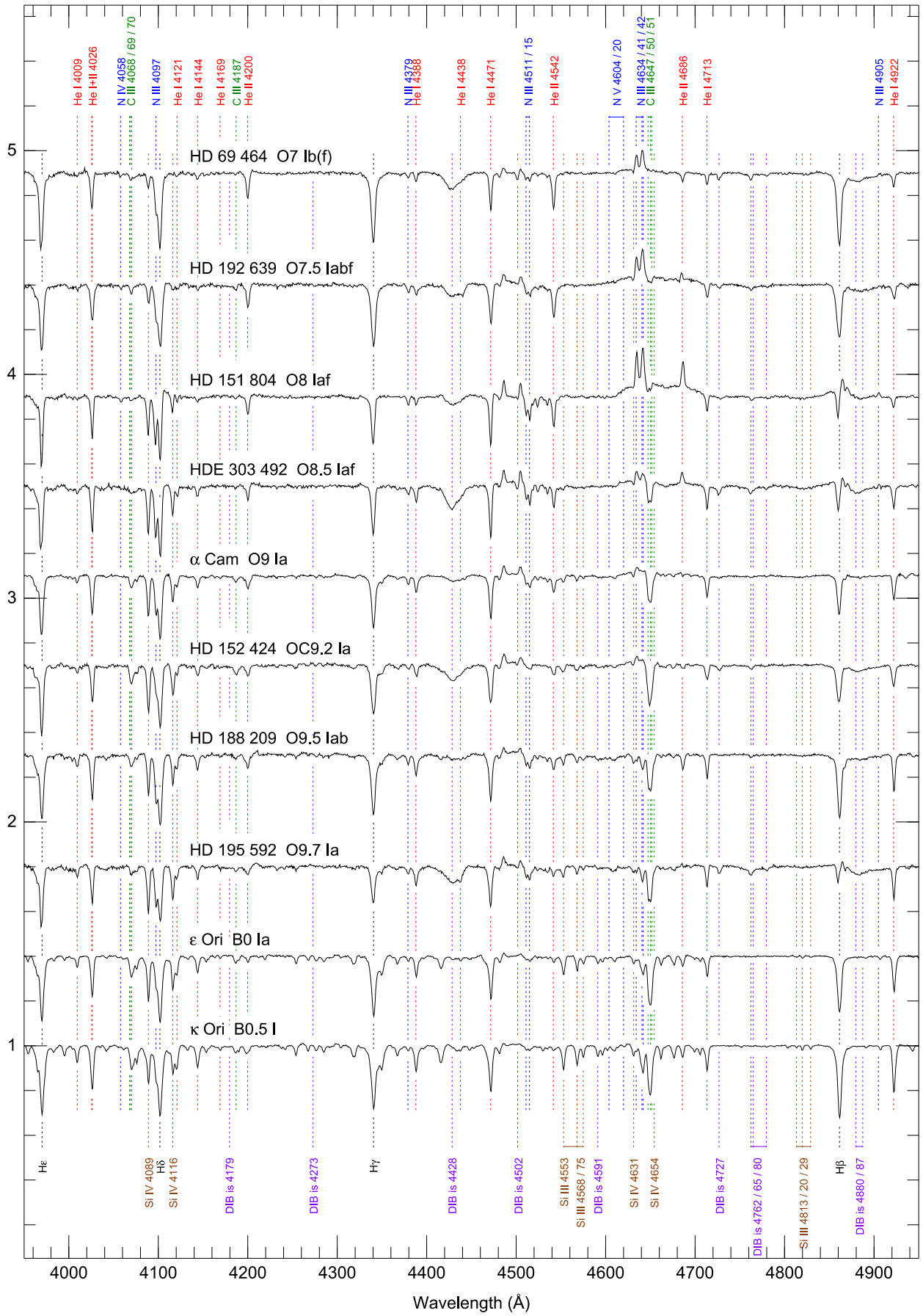


Figura 13. (continúa).

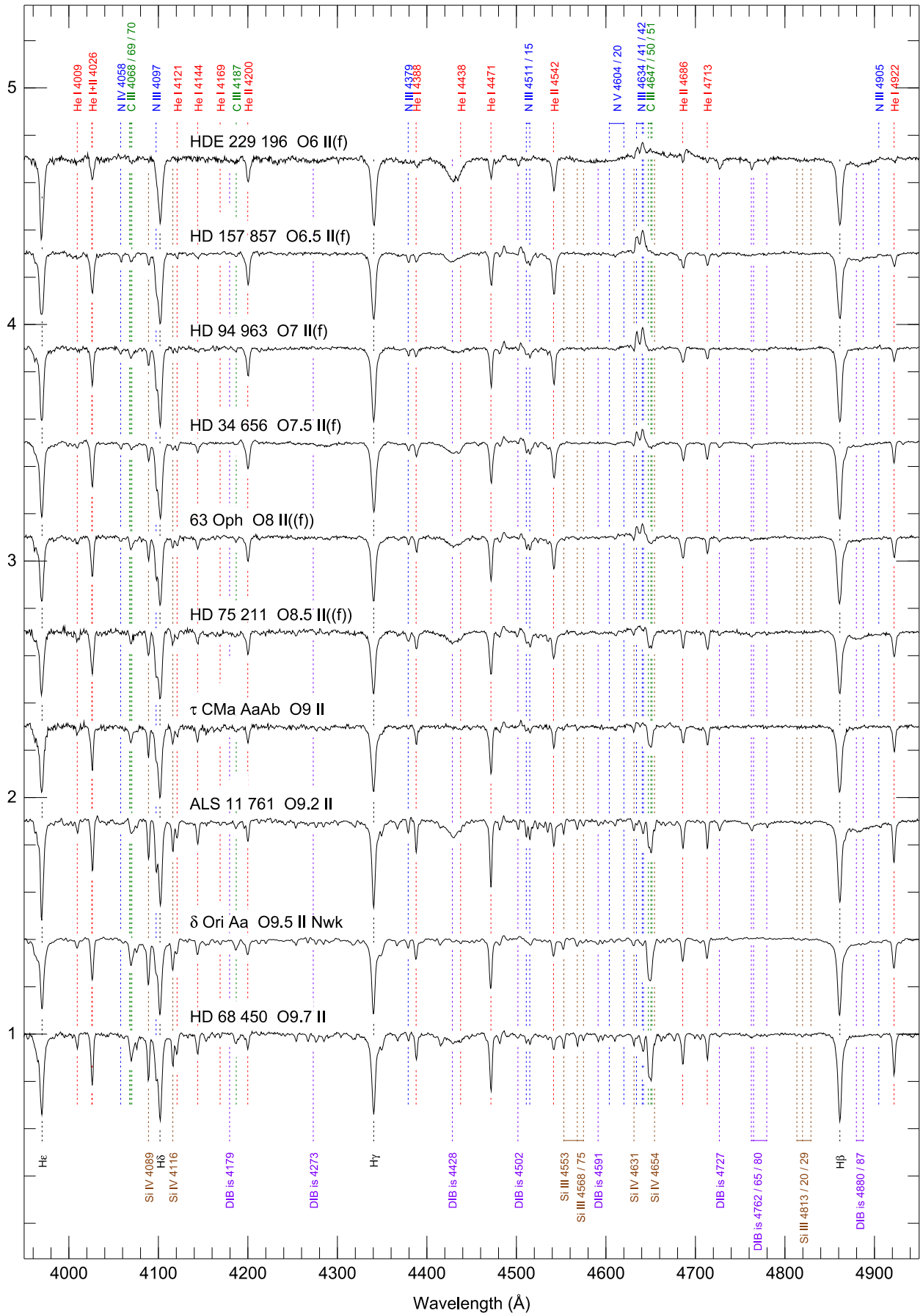


Figura 14. Igual que la Figura 13 para la clase de luminosidad II.

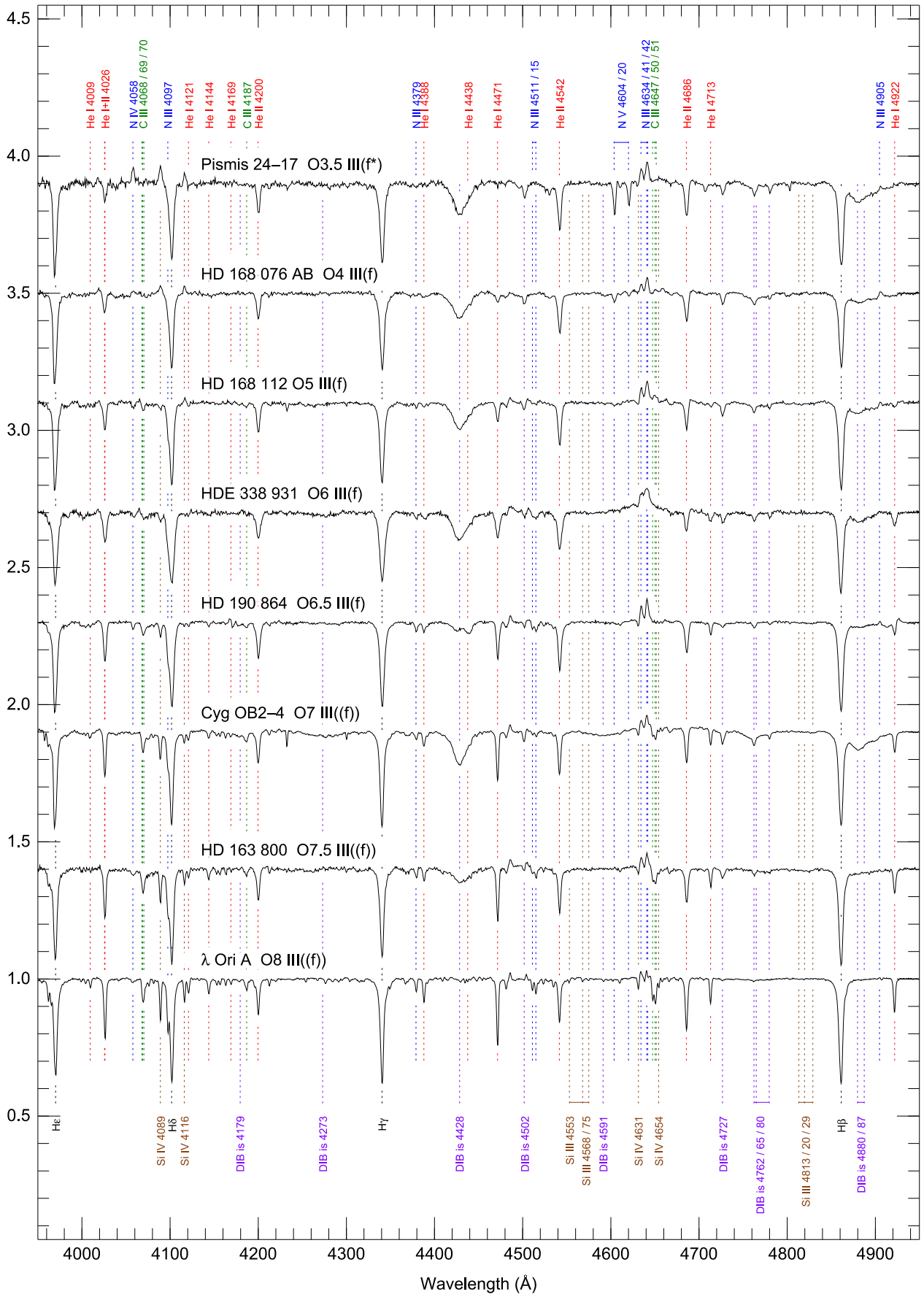


Figura 15. Igual que la Figura 13 para la clase de luminosidad III.

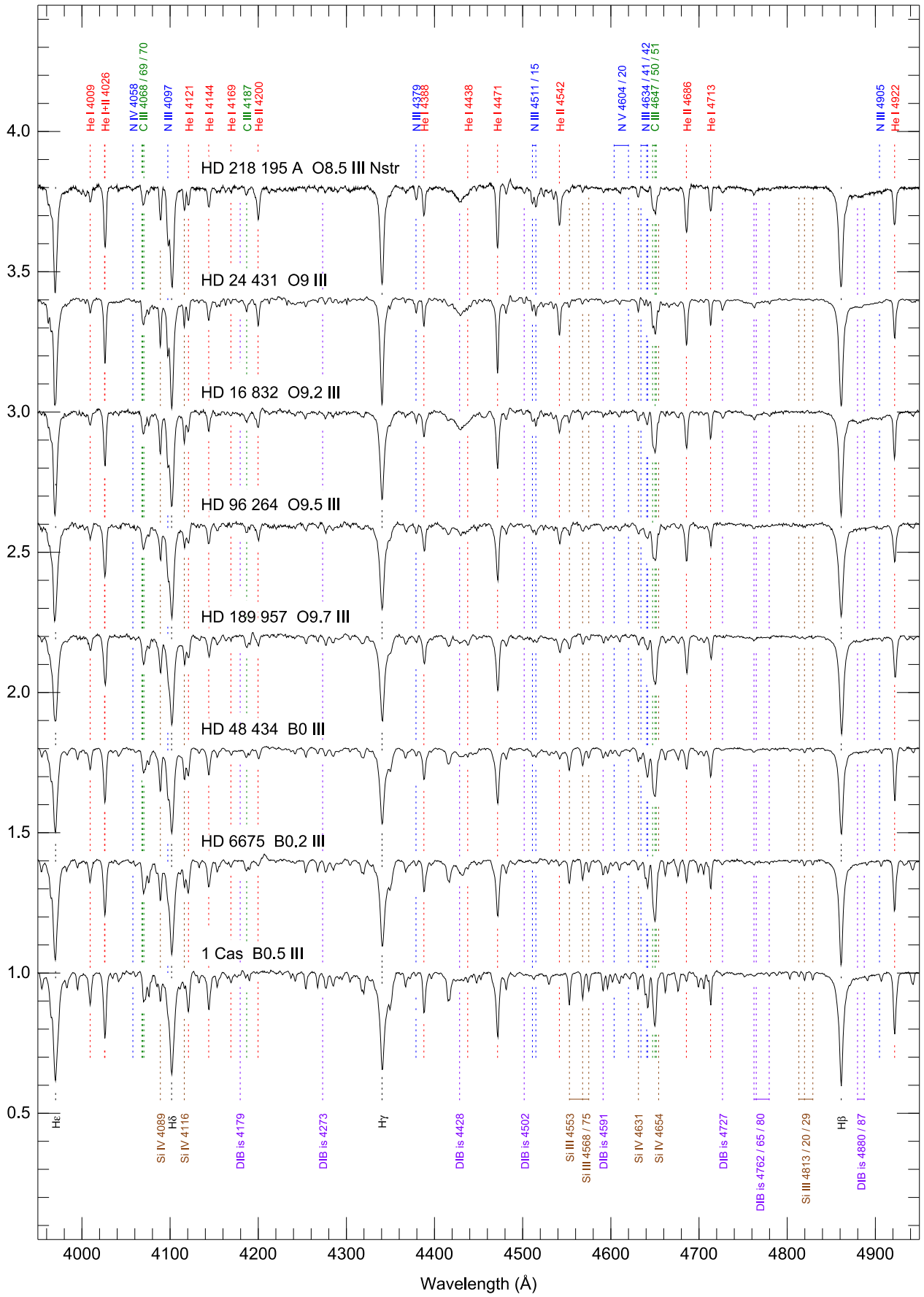


Figura 15. (Continúa).

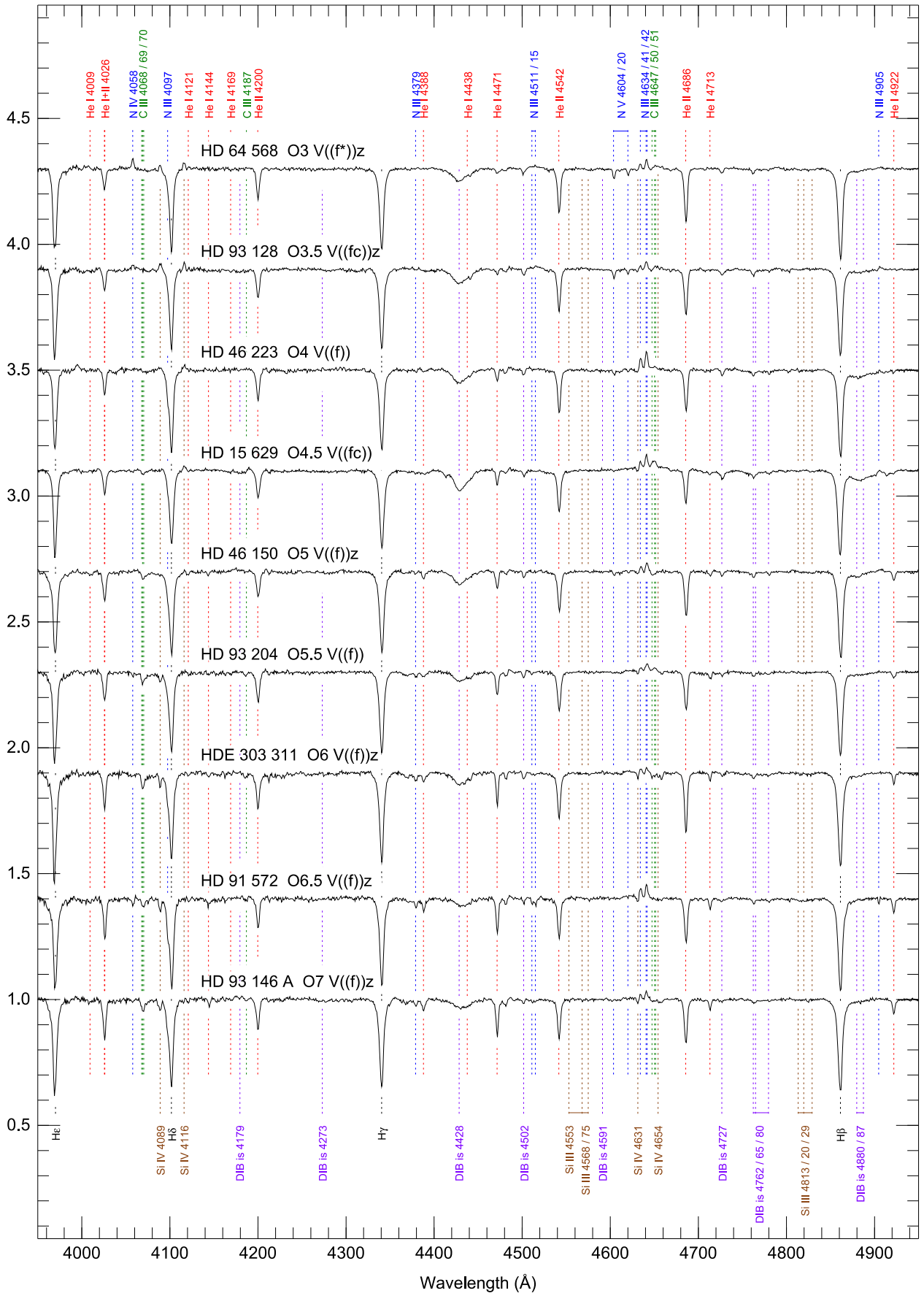


Figura 16. Igual que la Figura 13 para la clase de luminosidad V.

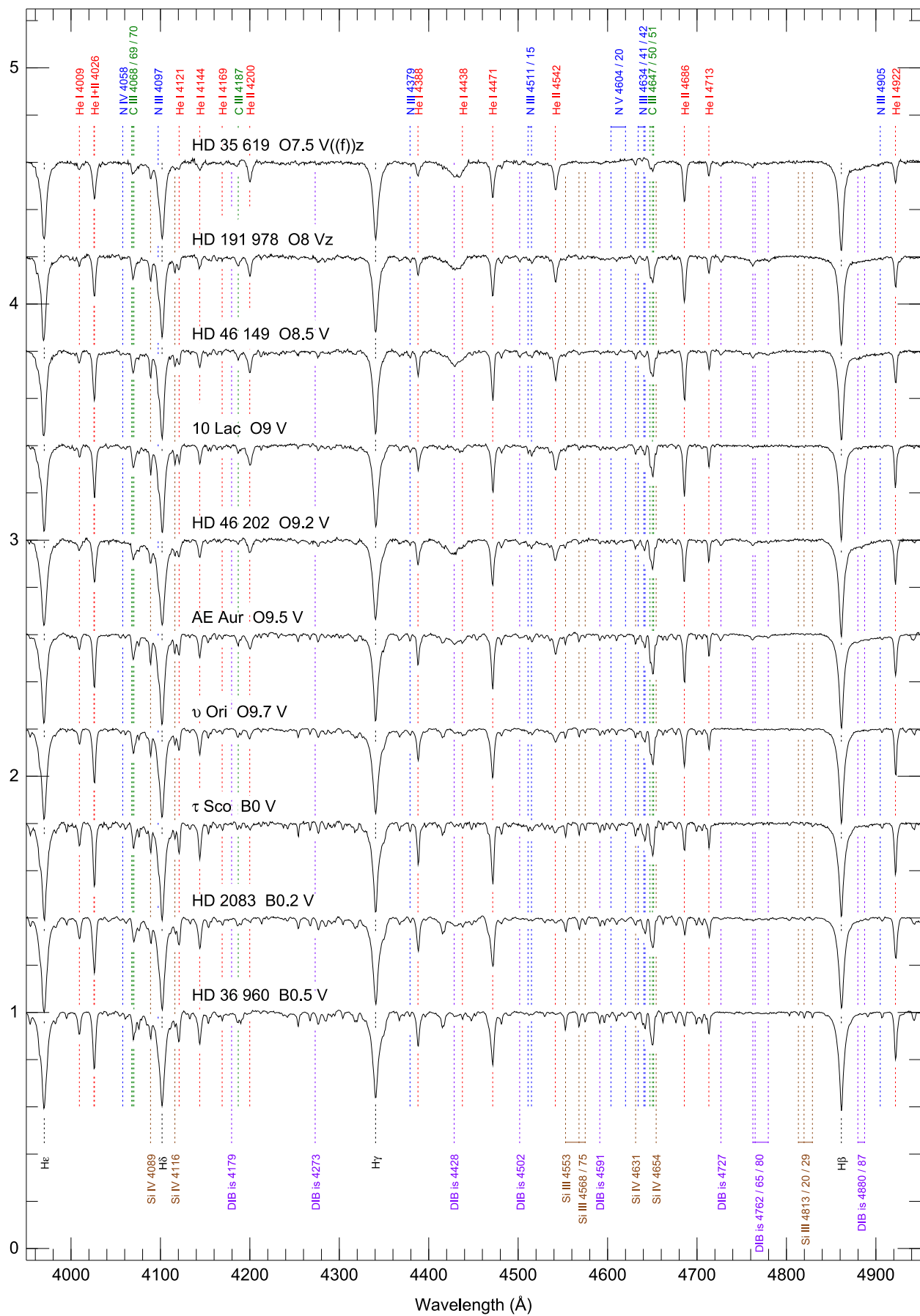


Figura 16. (Continúa).

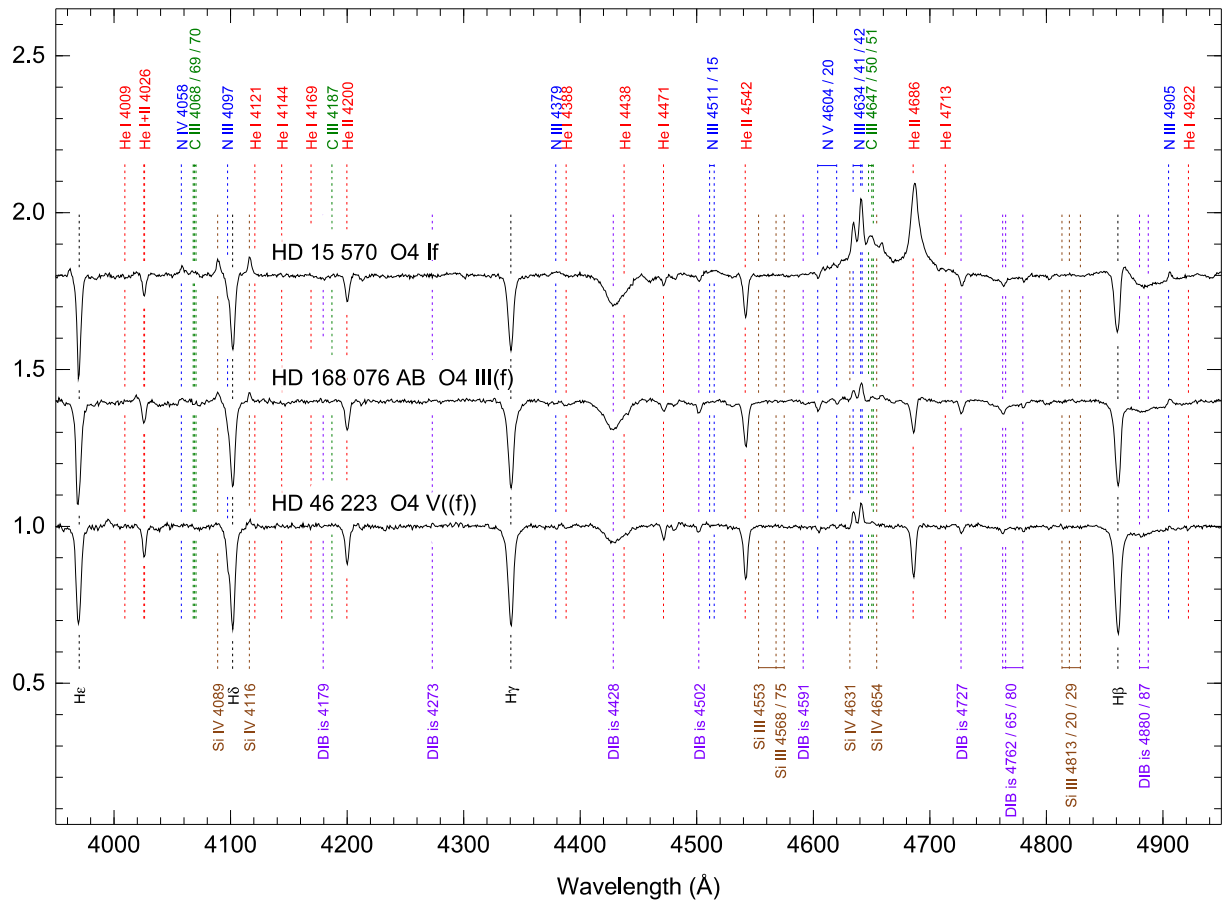


Figura 17. Efectos de luminosidad en el tipo espectral O4.

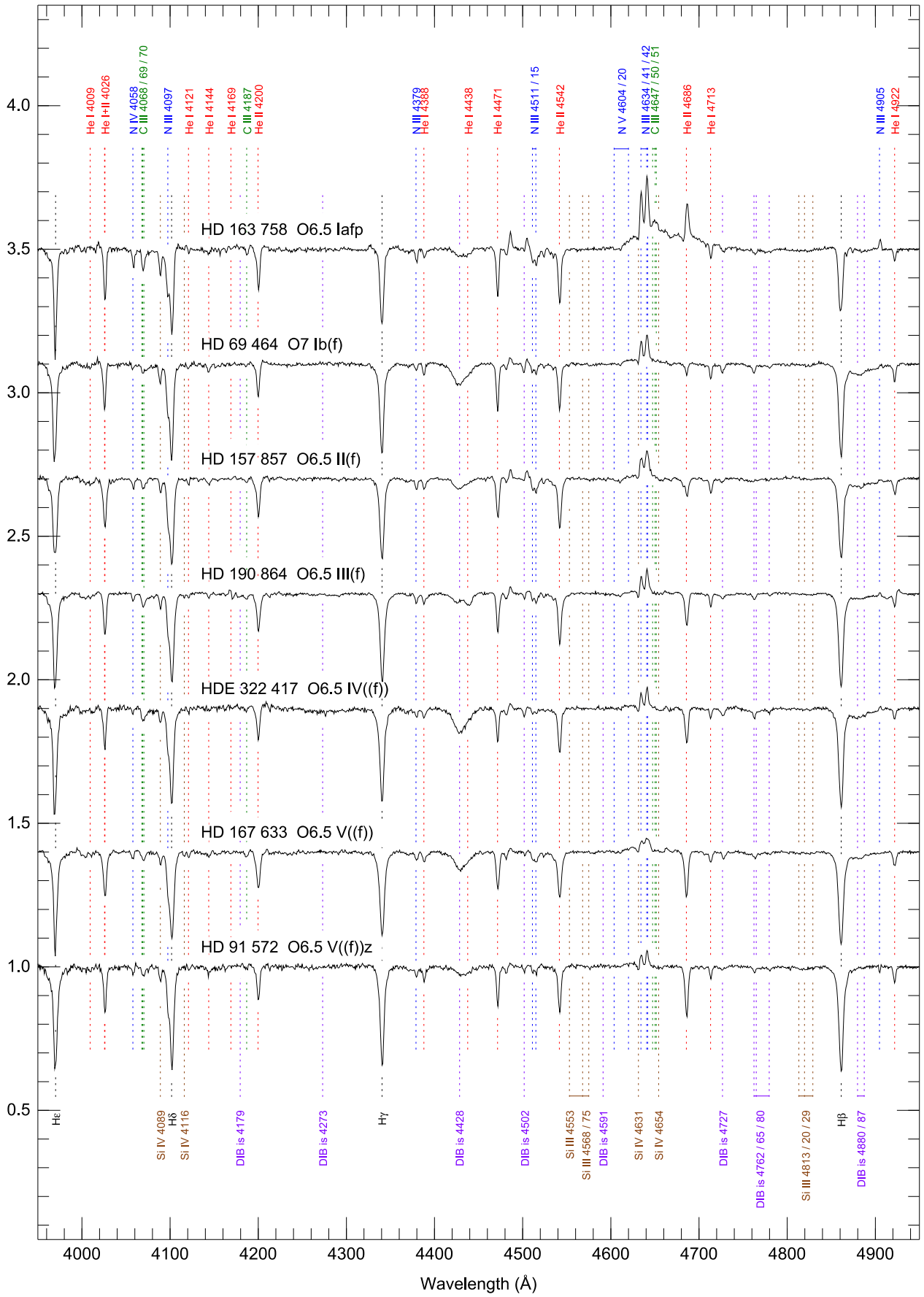


Figura 18. Efectos de luminosidad en el tipo espectral O6.5.

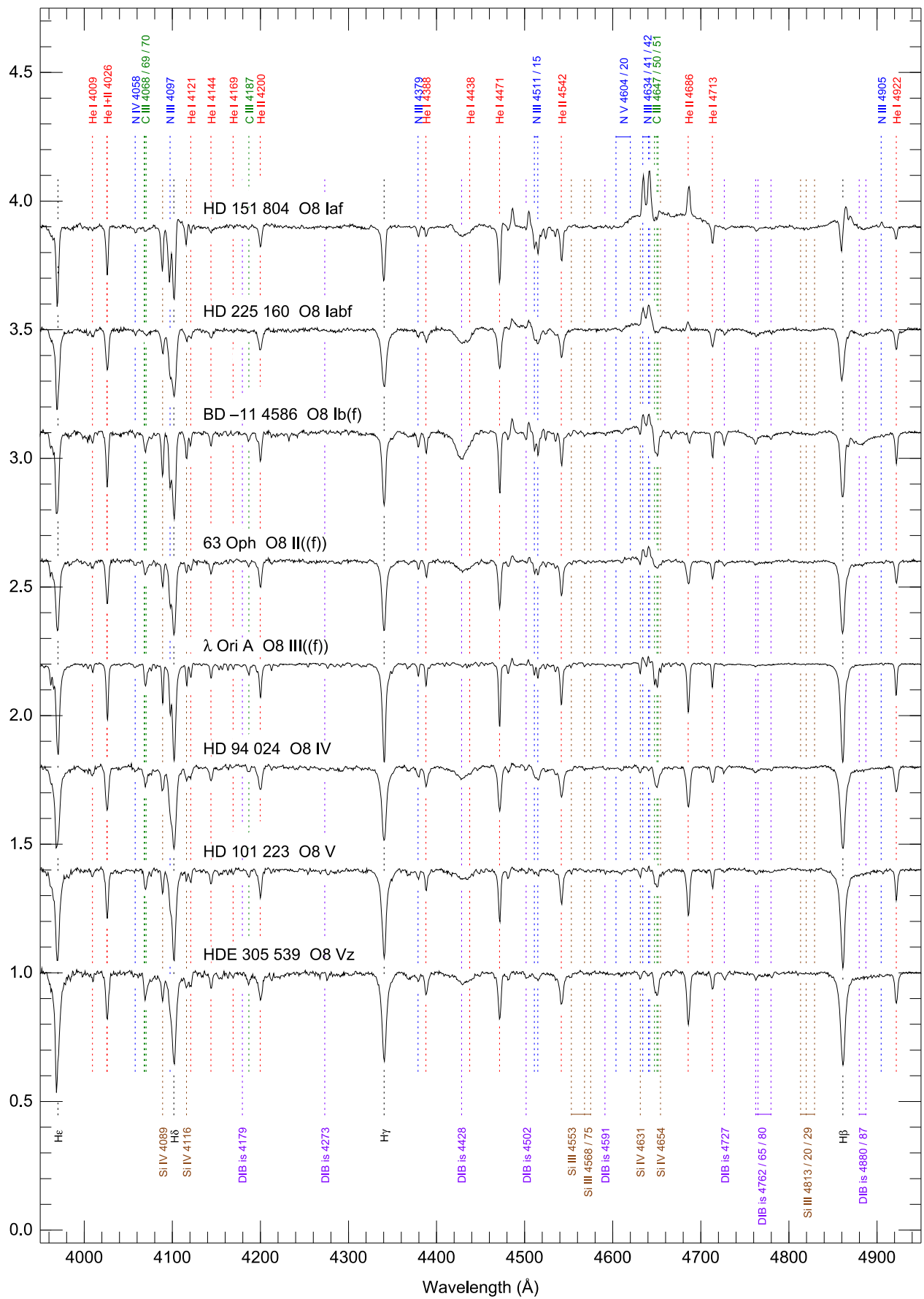


Figura 19. Efectos de luminosidad en el tipo espectral O8.

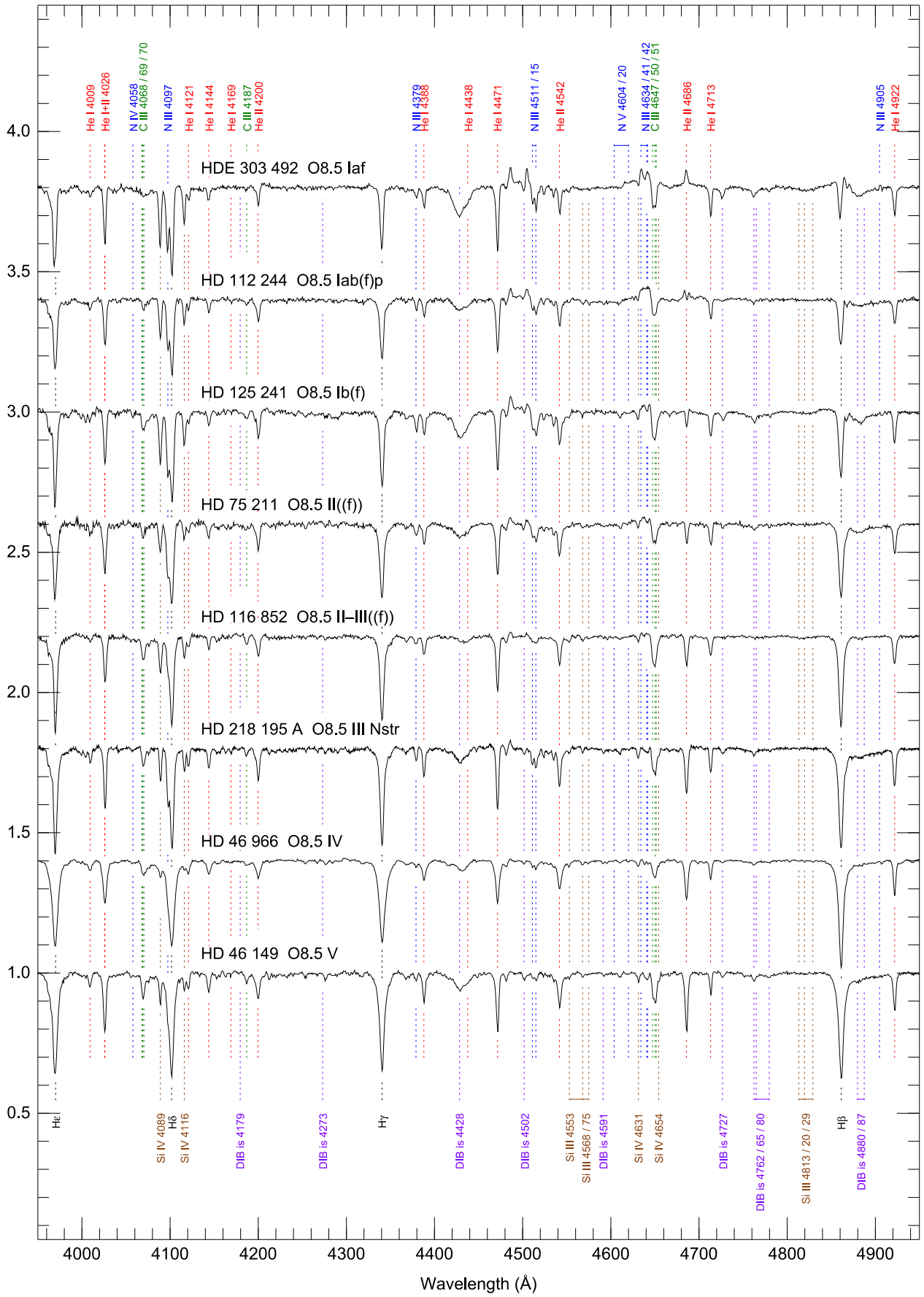


Figura 20. Efectos de luminosidad en el tipo espectral O8.5.

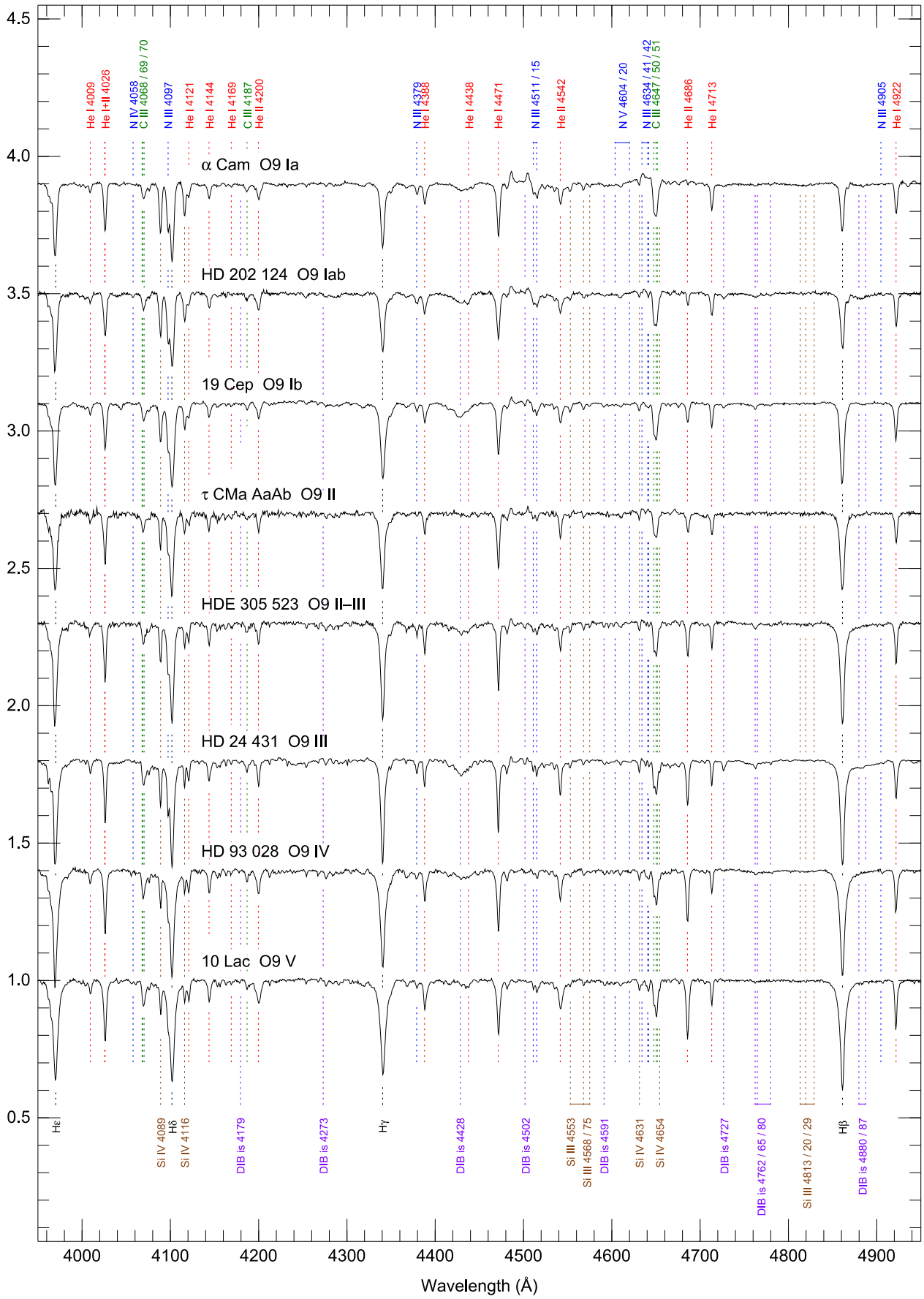


Figura 21. Efectos de luminosidad en el tipo espectral O9.

| | Vz | V | IV | III | II | Ib | Iab/I | Ia |
|------|--|--|--|--|---|--|--|-----------------------------|
| O2 | | | | | | | <i>HD 93 129 AaAb</i> | |
| O3 | <i>HD 64 568</i> | ... | | ... | | | Cyg OB2-7 | |
| O3.5 | <i>HD 93 128</i> | ... | | <i>Pismis 24-17</i> | | | <i>NGC 3603 HST-48</i> | |
| O4 | <i>HD 96 715</i> | HD 46 223 | HD 168 076 AB <i>HD 93 250 AB</i> | ... | | | HD 15 570 HD 16 691 HD 190 429 A | |
| O4.5 | ... | HD 15 629 <i>HDE 303 308 AB</i> | HD 193 682 | ... | | | HD 14 947 Cyg OB2-9 | |
| O5 | HD 46 150 | <i>HDE 319 699</i> | HD 168 112 AB | <i>HD 93 843</i> | | | <i>CPD -47 2963 AB</i> | |
| O5.5 | ... | <i>HD 93 204</i> | ... | ... | | | Cyg OB2-11 <i>ALS 18 747</i> | |
| O6 | HD 42 088 <i>HDE 303 311</i> | ALS 4880 <i>CPD -59 2600</i> | <i>HD 101 190 AaAb</i> | HDE 338 931 | HDE 229 196 | ... | ... | HD 169 582 |
| O6.5 | <i>HD 91 572</i> | HD 167 633 HD 12 993 | <i>HDE 322 417</i> | HD 190 864 <i>HD 96 946</i> <i>HD 152 723 AaAb</i> <i>HD 156 738 AB</i> | HD 157 857 | ... | ... | <i>HD 163 758</i> |
| O7 | <i>HD 97 966</i> <i>CPD -58 2620</i> HDE 242 926 <i>HD 91 824</i> | <i>HD 93 146 A</i> <i>HD 93 222 AB</i> | ALS 12 320 | Cyg OB2-4 A <i>HD 93 160 AB</i> | <i>HD 94 963</i> <i>HD 151 515</i> | <i>HD 69 464</i> HD 193 514 | ... | ... |
| O7.5 | <i>HD 152 590</i> | HD 35 619 | <i>HD 97 319</i> | <i>HD 163 800</i> | HD 34 656 HD 171 589 | HD 17 603 <i>HD 156 154</i> | HD 192 639 9 Sge | ... |
| O8 | <i>HDE 305 539</i> <i>HDE 305 438</i> | <i>HD 101 223</i> <i>HD 97 848</i> HD 191 978 | <i>HD 94 024</i> <i>HD 135 591</i> | <i>HDE 319 702</i> λ Ori A | <i>63 Oph</i> | BD -11 4586 | HD 225 160 | <i>HD 151 804</i> |
| O8.5 | | <i>HDE 298 429</i> HD 14 633 AaAb HD 46 149 <i>HD 57 236</i> <i>Trumpler 14-9</i> | HD 46 966 AaAb | <i>HD 114 737 AB</i> HD 218 195 A | <i>HD 75 211</i> HD 207 198 | <i>HD 125 241</i> | ... | <i>HDE 303 492</i> |
| O9 | | 10 Lac HD 216 898 <i>CPD -59 2551</i> | <i>HD 93 028</i> <i>CPD -41 7733</i> | <i>HD 93 249 A</i> HD 24 431 | <i>HD 71 304</i> <i>τ CMa AaAb</i> | 19 Cep | HD 202 124 <i>HD 152 249</i> HD 210 809 | α Cam |
| O9.2 | | HD 46 202 HD 12 323 | <i>HD 96 622</i> | <i>CPD -35 2105 AaAbB</i> HD 16 832 | ALS 11 761 | <i>HD 76 968</i> | <i>HD 154 368</i> <i>HD 123 008</i> HD 218 915 | <i>HD 152 424</i> |
| O9.5 | | AE Aur μ Col | HD 192 001 <i>HD 93 027</i> <i>HD 155 889 AB</i> | <i>HD 96 264</i> | δ Ori AaAb | ... | HD 188 209 | ... |
| O9.7 | | <i>v Ori</i> | HD 207 538 | HD 189 957 <i>HD 154 643</i> | <i>HD 68 450</i> <i>HD 152 405</i> HD 10 125 | HD 47 432 <i>HD 154 811</i> <i>HD 152 147</i> | HD 225 146 μ Nor <i>HD 104 565</i> HD 191 781 | HD 195 592 <i>GS Mus</i> |

Tabla 14. Estándares de clasificación espectral. Nota. Los tipos de letra normal, cursiva y negrita se usan para las estrellas con $\delta > +20^\circ$, $\delta < -20^\circ$, y la región intermedia ecuatorial, respectivamente.

| Calificador | Descripción |
|-------------|---|
| ((f)) | Emisión débil de N III $\lambda 4634-40-42$, absorción fuerte de He II $\lambda 4686$ |
| (f) | Emisión media de N III $\lambda 4634-40-42$, absorción neutra o débil de He II $\lambda 4686$ |
| f | Emisión fuerte de N III $\lambda 4634-40-42$, emisión por encima del continuo He II $\lambda 4686$ |
| ((f*)) | Emisión N IV $\lambda 4058 \geq$ emisión N III $\lambda 4640$, He II $\lambda 4686$ absorción fuerte (O2-3.5) |
| (f*) | Emisión N IV $\lambda 4058 \geq$ emisión N III $\lambda 4640$, He II $\lambda 4686$ absorción más débil (O2-3.5) |
| f* | Emisión N IV $\lambda 4058 \geq$ emisión N III $\lambda 4640$, He II $\lambda 4686$ emisión (O2-3.5) |
| ((fc)) | Como ((f)) más C III $\lambda 4647-50-51$ emisión igual a N III $\lambda 4634$ |
| (fc) | Como (f) más C III $\lambda 4647-50-51$ emisión igual a N III $\lambda 4634$ |
| fc | Como f más C III $\lambda 4647-50-51$ emisión igual a N III $\lambda 4634$ |
| f?p | Emisión variable C III $\lambda 4647-50-51 \geq$ N III $\lambda 4634-40-42$ en el máximo; características de absorción variable estrecha, emisión y/o P-Cygni en las líneas de H y He I |
| ((f+)) | Como ((f)) más Si IV $\lambda 4089-4116$ en emisión (O4-8, obsoleto, ver sección 4.3.1.3) |
| (f+) | Como (f) más Si IV $\lambda 4089-4116$ en emisión (O4-8, obsoleto, ver 4.3.1.3) |
| f+ | Como f más Si IV $\lambda 4089-4116$ en emisión (O4-8, obsoleto, ver sección 4.3.1.3) |
| (e) | Probable emisión en H α pero sin espectro rojo disponible |
| e | Componentes de emisión en líneas de H |
| pe | Como e con los componentes de emisión en He I |
| [e] | Espectro de emisión que incluye líneas prohibidas de Fe |
| e+ | Líneas de emisión de Fe II y H (subcategorías en Lesh 1968) |
| ((n)) | Líneas ensanchadas (no aplica aquí, marginales) |
| (n) | Líneas más ensanchadas ($v \sin i \sim 200 \text{ km s}^{-1}$) |
| n | Líneas aún más ensanchadas ($v \sin i \sim 300 \text{ km s}^{-1}$) |
| nn | Líneas aún más ensanchadas ($v \sin i \sim 400 \text{ km s}^{-1}$) |
| [n] | Líneas de H más ensanchadas que las líneas de He |
| nfp | Líneas de He con emisión centrada invertida, líneas de absorción ensanchadas (Conti Oef) |
| N | Absorción de N aumentada, deficiencia de C y O |
| Nstr | Caso moderado del anterior (por ejemplo, N III $\lambda 4640$ aumentado, pero no $>$ C III $\lambda 4650$) |
| C | Absorción de C aumentada, deficiencia de N |
| Nwk | Caso moderado del anterior |
| var | Variación en las intensidades o el contenido del espectro lineal |
| p | Espectro peculiar |
| z | He II $\lambda 4686$ en absorción y $>$ que tanto He I $\lambda 4471$ como He II $\lambda 4542$ |

Tabla 15. Calificadores utilizados para la clasificación espectral en este trabajo.

Con respecto al ensanchamiento de líneas, hemos distinguido consistentemente los tres grados (n), n y nn en este trabajo. El calificador ((n)) de Walborn (1971c) no se ha aplicado, ya que se consideró demasiado marginal y cercano a las ligeras diferencias de resolución entre los diferentes instrumentos implicados. La Figura 22 muestra la secuencia desde estrellas normales a estrellas nn para estrellas alrededor del tipo O9 II. Consultar la Tabla 15 para ver las velocidades aproximadas que corresponden a (n), n y nn, respectivamente.

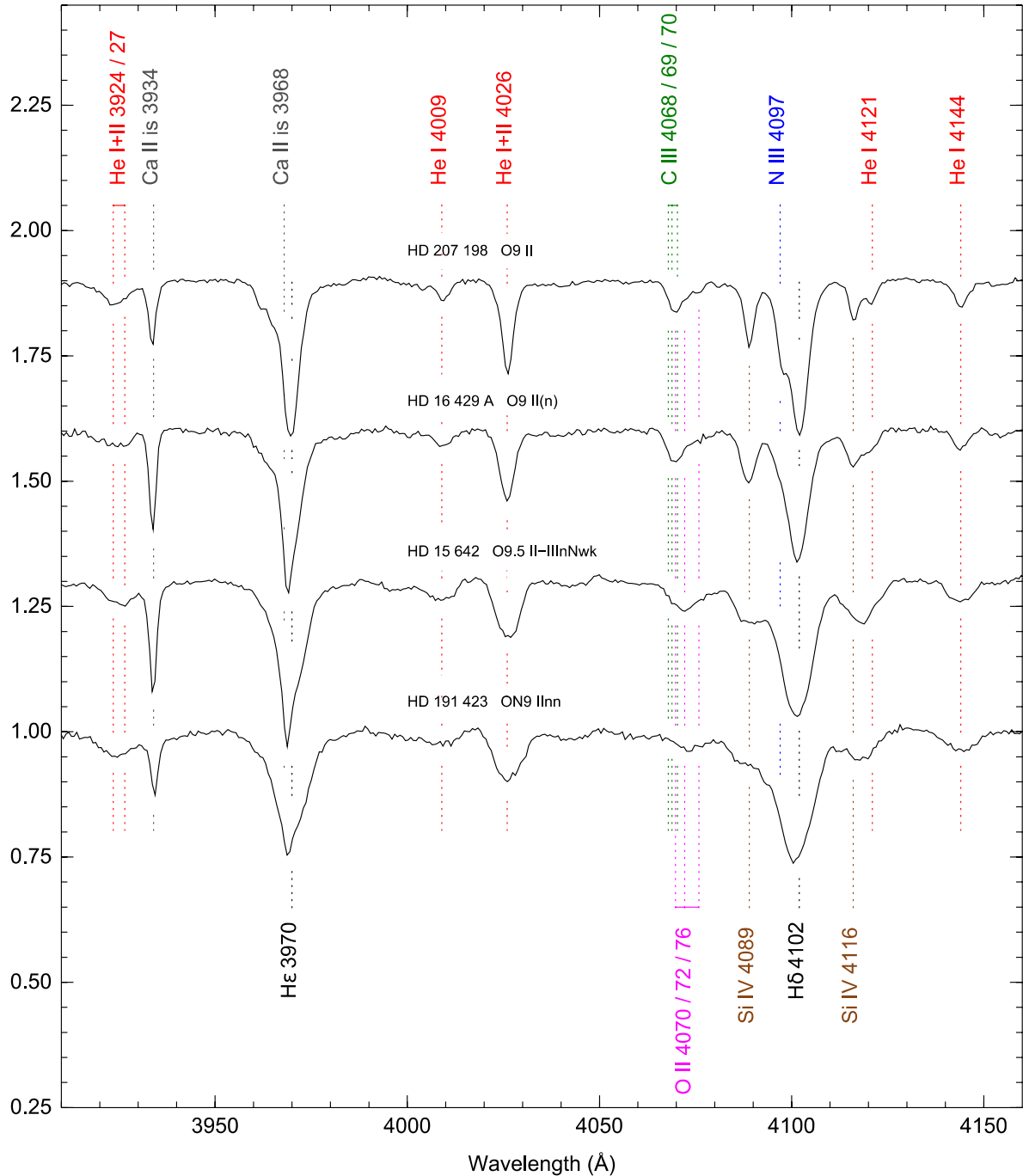


Figura 22. Secuencia de ensanchamiento (normal, (n), n, nn) para cuatro estrellas O de tipo espectral similar.

4.3.1.1 Criterios O8-Bo

El criterio de clasificación horizontal principal para las estrellas O ha sido la relación de ionización de helio $\text{He II } \lambda 4542 / \text{He I } \lambda 4471$. Tiene un valor de unidad en el tipo O7 y es muy sensible hacia cualquiera de los lados. Sin embargo, cuando la relación se vuelve muy desigual, su estimación es más difícil, aunque se ha aplicado a lo largo de toda la secuencia de tipo O. En los tipos más tempranos, no existe una alternativa de línea de absorción comparable, pero en los tipos O tardíos, las relaciones $\text{He II } \lambda 4542 / \text{He I } \lambda 4388$ y $\text{He II } \lambda 4200 / \text{He I } \lambda 4144$ son muy sensibles. En trabajos previos, se ha permitido su aumento con la clase de luminosidad en un tipo espectral dado, pero aquí los adoptamos como el criterio de tipo espectral primario en los tipos O8.5-Bo y definimos el tipo O9 mediante valores de unidad en ambas proporciones. Como resultado, puede haber pequeñas diferencias sistemáticas entre las clasificaciones actual y anterior (aunque Walborn et al., 2000 ya habían adoptado estos procedimientos), y los tipos espectrales de algunas estándares fundamentales han sido revisados, por ejemplo, α Cam y 19 Cep de O9.5 a O9. Se cree que estas nuevas definiciones proporcionarán clasificaciones más reproducibles y consistentes para las estrellas O tardías. La definición del tipo O9.7 permanece $\text{He II } \lambda 4542$ igual a $\text{Si III } \lambda 4552$, con un rango permitido de ligeramente mayor a ligeramente menor. Este tipo espectral se usaba anteriormente solo para clases de luminosidad superiores a III, pero aquí también se ha aplicado en las clases de luminosidad más baja, para mejorar la consistencia general en los tipos O tardíos. Así, se han movido tres estrellas estándar: HD 189 957 de O9.5 III a O9.7 III, ν Ori de Bo V a O9.7 V, y τ Sco de Bo.2 V a Bo V. Se espera que esta redefinición aumentará el número de estrellas clasificadas como O moviendo objetos Bo V-III a las categorías O9.7 V-III. Los criterios en los tipos O8.5-Bo se resumen en la Tabla 16.

| Tipo espectral | $\text{He II } \lambda 4542 / \text{He I } \lambda 4388$ y $\text{He II } \lambda 4200 / \text{He I } \lambda 4144$ | $\text{Si III } \lambda 4552 / \text{He II } \lambda 4542$ |
|----------------|--|--|
| O8 | >1 | N/A |
| O8.5 | ≥ 1 | N/A |
| O9 | $=1$ | $<<<1$ |
| O9.2 | ≤ 1 | $<<1$ |
| O9.5 | <1 | <1 |
| O9.7 | $<<1$ | ≤ 1 a ≥ 1 |
| Bo | $<<<1$ | >1 |

Tabla 16. Criterios de tipo espectral en los tipos O8.5-Bo (comparaciones entre pares de líneas de absorción)

4.3.1.2 Criterios de luminosidad

La primera clasificación de luminosidad para estrellas anteriores a los tipos O8-O9 fue introducida por Walborn (1971c, 1973b); se basa en los efectos de emisión selectiva (Walborn 2001) de He II $\lambda 4686$ y N III $\lambda\lambda 4634-4640-4642$, es decir, el efecto Of. En parte, se basó en la inferencia de que el efecto negativo de luminosidad en las líneas de absorción correspondientes en los tipos O tardíos es causado por el llenado de emisiones por el mismo efecto. En los tipos O tardíos, la intensidad creciente de las líneas Si IV en $\lambda\lambda 4089$ y 4116 en relación con las líneas He I cercanas proporciona un criterio de luminosidad independiente (Tabla 17). En algunos espectros, por varias razones (por ejemplo, compañeras, metalicidad, efectos de resolución en líneas de diferentes anchos intrínsecos, etc.), estos criterios independientes pueden ser un poco discrepantes; algunos ejemplos se pueden ver en el presente atlas y en la muestra de espectros. En el proceso MK, el enfoque general es examinar todo el espectro y adoptar un "promedio" sobre todos los criterios disponibles; si las discrepancias se consideran demasiado grandes, se agrega una "p" (de peculiar) al tipo espectral. Aquí, hemos preferido adoptar el comportamiento de He II $\lambda 4686$ como el criterio de luminosidad primario para la definición, permitiendo algún rango en el criterio de Si IV en una clase dada. Los valores de la relación He II $\lambda 4686$ /He I $\lambda 4713$ en los tipos espectrales O8-O8.5 y O9-9.7 se dan en las Tablas 17 y 18, respectivamente; la morfología correspondiente en los tipos más tempranos se define en el atlas. Nuevamente, se cree que este procedimiento producirá clases de luminosidad más reproducibles y consistentes.

| Clase de Lum. | O8 | O8.5 |
|---------------|----------------------|---------------------|
| Ia | Emisión fuerte | Emisión débil |
| Iab | Emisión débil | Neutro |
| Ib | Casi neutro | Absorción muy débil |
| II | Absorción muy débil | |
| III | Absorción fuerte | |
| V | Absorción muy fuerte | |

Tabla 17. O8-O8.5 Criterio de luminosidad He II $\lambda 4686$

| Clase de Lum. | He II $\lambda 4686$ /He I $\lambda 4713$ | Si IV $\lambda 4089$ /He I $\lambda 4026$ |
|---------------|---|---|
| Ia | ~ 0 | $>$ |
| Iab | $<< a <$ | $\geq a \leq$ |
| Ib | \leq | \leq |
| II | $=$ | $<$ |
| III | $>$ | $< a <<$ |
| V | $>>$ | $<<$ |

Tabla 18. Criterios de luminosidad O9-O9.7 (comparaciones entre pares de líneas de absorción)

4.3.1.3 Estrellas Ofc

En Walborn et al. (2010a) se ha revelado una nueva categoría de espectros de tipo O, denotados como Ofc, en los que las líneas de emisión de C III $\lambda\lambda 4647-4650-4652$ alcanzan intensidades similares a las adyacentes de N III $\lambda\lambda 4634-4640-4642$ que están incluidas en la definición de la categoría Of. Este fenómeno tiene un fuerte pico en el tipo espectral O5 en todas las clases de luminosidad y probablemente corresponde a una sensibilidad agudamente definida de las poblaciones de nivel iónico a los parámetros atmosféricos. La Figura 24 presenta el rango espectral completo verde-violeta en la muestra actual de espectros Ofc. Se puede observar que en algunos de los espectros Ofc más calientes, Si IV $\lambda 4654$ y C IV $\lambda 4658$ se vuelven comparables con C II (véase también Walborn et al., 2002).

Un aspecto relacionado sobre la notación es la eliminación del signo "+" después de la "f", utilizada anteriormente para denotar la emisión en Si IV $\lambda\lambda 4089, 4116$. Esa notación desafortunadamente creó confusión con la superluminosidad, como se usó para las supergigantes de O tardías y B tempranas. Ya no se considera esencial, dado que la emisión de Si IV está ahora bien establecida como una característica común que responde a la temperatura y la gravedad en los espectros normales de tipo O, y se están identificando muchas otras características de emisión selectiva (Walborn 2001; Werner y Rauch 2001; Corti et al. 2009). Los grados del parámetro f en sí no se modifican y aún se definen en términos de la apariencia cualitativa de He II $\lambda 4686$ y N III $\lambda\lambda 4634-4640-4642$ combinados.

4.3.1.4 El subtipo espectral O9.2

Un desarrollo reciente es la definición del subtipo O9.2 por N. R. Walborn et al. (2014) basado en datos Galácticos y 30 Doradus, de mayor resolución espectral que GOSSS con criterios fácilmente utilizados en $R \sim 2500$. Una estrella O9.2 tiene las relaciones entre líneas He II $\lambda 4542$ /He I $\lambda 4388$ y He II $\lambda 4200$ /He I $\lambda 4144$ ligeramente inferiores a la unidad; por lo tanto, este subtipo es simétrico con respecto a O8.5 en el lado opuesto de O9. En la Tabla 16 se dan los criterios actualizados para el rango del subtipo espectral O8.5-Bo. En esta tesis se presentan 24 estrellas Galactic O9.2 (ver Figura 23). Todas menos cinco de ellas no fueron clasificadas como tales en GOSSS-DR1.0.

HD 5005 D. Obtuvimos espectros individuales para las cuatro componentes brillantes en este sistema (A, B, C y D) y encontramos que todas ellas eran estrellas O. Este objeto no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Esta estrella se clasificó como O9.5 V en GOSSS-DR1.0 y se cambió a O9.2 V en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33.

HD 12 323. Esta estrella se clasificó como ON9.5 V en GOSSS-DR1.0 y se cambió a ON9.2 V en GOSSS-DR1.1.

HD 16 832. En GOSSS-DR1.0 esta estrella se clasificó como O9.5 II-III y se cambió a O9.2 III en GOSSS-DR1.1.

ζ Ori AaAb = Alnitak AaAb = HD 37 742 AB. Pudimos extraer los espectros individuales de A y B (= HD 37 743), separados por $2.424''$ y con un Δm de 2.3 mag en la banda z. La nueva calibración de Hipparcos da una distancia de 239^{+43}_{-32} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a),

consistente con la de δ Ori AaAb, indicando una pequeña distancia entre estos dos objetos del cinturón de Orion. En algunas observaciones, la clase de luminosidad de ζ Ori A aparece como II. Bouret et al. (2008) detectaron un campo magnético débil y Lefèvre et al. (2009) encontraron una variabilidad intrínseca con una amplitud de 0.029 mag. El tipo espectral ha cambiado de O9.5 Ib var Nwk a O9.2 Ib var Nwk en GOSSS-DR1.1.

HD 46 202. Esta estrella se clasificó como O9.5 V en GOSSS-DR1.0 y se cambió a O9.2 V en GOSSS-DR1.1. E. J. Aldoretta et al. (2015) han descubierto recientemente una compañera a una separación de 86.7 mas y un Δm de 2.166 mag.

HD 57 682. Grunhut et al. (2009) descubrieron un campo magnético en esta estrella, y también midieron recientemente el período, el campo magnético longitudinal y la oblicuidad magnética de esta estrella (Grunhut et al. 2012). Las líneas espectrales son muy nítidas y existen variaciones del perfil de Balmer a alta resolución muy similares a las de las estrellas Of?p de tipos más tempranos. El tipo espectral ha cambiado de O9.5 IV en GOSSS-DR1.0 a O9.2 IV en GOSSS-DR1.1.

CPD -35 2105 AB = CD-35 4384 AB. Esta es una de las cinco estrellas O9.2 clasificadas como tales en GOSSS-DR1.0. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificado como O9.5 IV por Garrison et al. (1977). En WDS dan una compañera con una separación de 1.1" y un Δm de 0.4 mag, que no pudimos resolver espacialmente en nuestros espectros de rendija larga. Además, recientemente E. J. Aldoretta et al. (2015) han descubierto que la componente A se divide en Aa y Ab con una separación de 43 mas y un Δm de 1.5 mag. Por lo tanto, es probable que el tipo espectral de GOSS sea compuesto.

HD 76 341. Esta estrella se clasificó como O9.5 IV en GOSSS-DR1.0 y se cambió a O9.2 IV en GOSSS-DR1.1. E. J. Aldoretta et al. (2015) han encontrado recientemente una compañera débil con una separación alrededor de 0.16". En datos de OWN, los espectros son variables.

HD 76 968. Esta estrella fue clasificada como O9.7 Ib por Walborn (1973b) y se cambió el subtipo espectral a O9.2 en GOSSS-DR1.1. Los datos de OWN indican que este objeto es una SB1.

HD 90 087. El subtipo espectral se cambió de O9.7 a O9.2 en GOSSS-DR1.1.

ALS 15 206 = CPD -58 2625. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como O9 V por Massey y Johnson (1993). La clasificación O9 V se mantuvo en GOSSS-DR1.0 pero se ha cambiado a O9.2 V en GOSSS-DR1.1. Ver Figura 33 para ver una carta (campo Trumpler 14).

HD 96 622. Esta estrella se clasificó como O9.5 IV en GOSSS-DR1.0 y se ha cambiado a O9.2 IV en GOSSS-DR1.1. A partir de un análisis preliminar con datos de OWN, es una SB1 con un período de 98 días.

HD 101 545 A. Este sistema tiene una componente B a 2.575" de distancia con un Δm de 0.6 mag. Pudimos resolver espacialmente las dos estrellas y determinar que la compañera es una estrella B temprana. Para la componente A, el tipo espectral cambió de O9.5 II en GOSSS-DR1.0 a O9.2 II en GOSSS-DR1.1.

HD 123 008. Esta es una de las cinco estrellas O9.2 clasificadas como tales en GOSSS-DR1.0. En el Sota et al. (2011) apareció como una estándar ON9.5 Iab; ahora se ha cambiado ON9.2 Iab. Los datos de OWN muestra que es variable en He II λ 4686 y H α .

HD 124 314 BaBb. Esta es una de las cinco estrellas O9.2 clasificadas como tales en GOSSS-DR1.0. HD 124 314 A y BaBb están separadas por 2.5" y ambas tienen tipos espectrales O. Ba y Bb no se pueden resolver espacialmente en nuestros datos, ya que solo están separados por 0.21". Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004). Ver carta en Figura 33 (campo HD 124 314).

CPD -59 5634. Esta estrella se clasificó como O9.7 Ib en GOSSS-DR1.0 y ahora es una O9.2 Ib.

ζ Oph = HD 149 757. Esta estrella parece haber sido expulsada por una explosión de supernova de la asociación estelar Upper Scorpius (Hoogerwerf et al. 2000). Es un rotador muy rápido. Su distancia revisada de Hipparcos con la nueva calibración es de 112^{+3}_{-3} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a), por lo que es la estrella O más cercana. En GOSSS-DR1.0 su clasificación era O9.5 IVnn; se cambió a O9.2 IVnn en GOSSS-DR1.1.

HD 152 247. Este sistema fue clasificado por Sana et al. (2008) como una SB2 con tipos espectrales O9 III y O9.7:V. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS, pero nuestro tipo espectral combinado O9.2 III (en GOSSS-DR1.0 era O9 .5 III) está de acuerdo con ese resultado. Ver carta en Figura 33 (campo NGC 6231).

HD 152 424. Esta es una de las cinco estrellas O9.2 clasificadas como tales en GOSSS-DR1.0. En Sota et al. (2011) apareció como estándar OC9.7 Ia, y ahora es OC9.2 Ia. A partir de un análisis preliminar con datos de OWN, es una SB1 con un período de 133 días.

HD 154 368 = V1074 Sco. Esta es una de las cinco estrellas O9.2 clasificadas como tales en GOSSS-DR1.0. En Sota et al. (2011) apareció como estándar O9.5 Iab, ahora es O9.2 Iab. Mason et al. (1998) indican que es una binaria eclipsante.

HD 164 438. Esta estrella fue clasificado como O9 III en GOSSS-DR1.0 y se cambió a O9.2 IV en GOSSS-DR1.1. Es un sistema SB1 según datos de OWN.

HD 201 345. Esta estrella solía ser el prototipo de enana tardía hasta que su clase de luminosidad se cambió a IV en Sota et al. (2011). Su subtipo espectral ha cambiado de ON9.5 a ON9.2 en GOSSS-DR1.1. Se ha sugerido que es un sistema SB por Lester (1973).

HD 218 915. Esta estrella se clasificó como O9.5 Iab en GOSSS-DR1.0 y se cambió a O9.2 Iab en GOSSS-DR1.1.

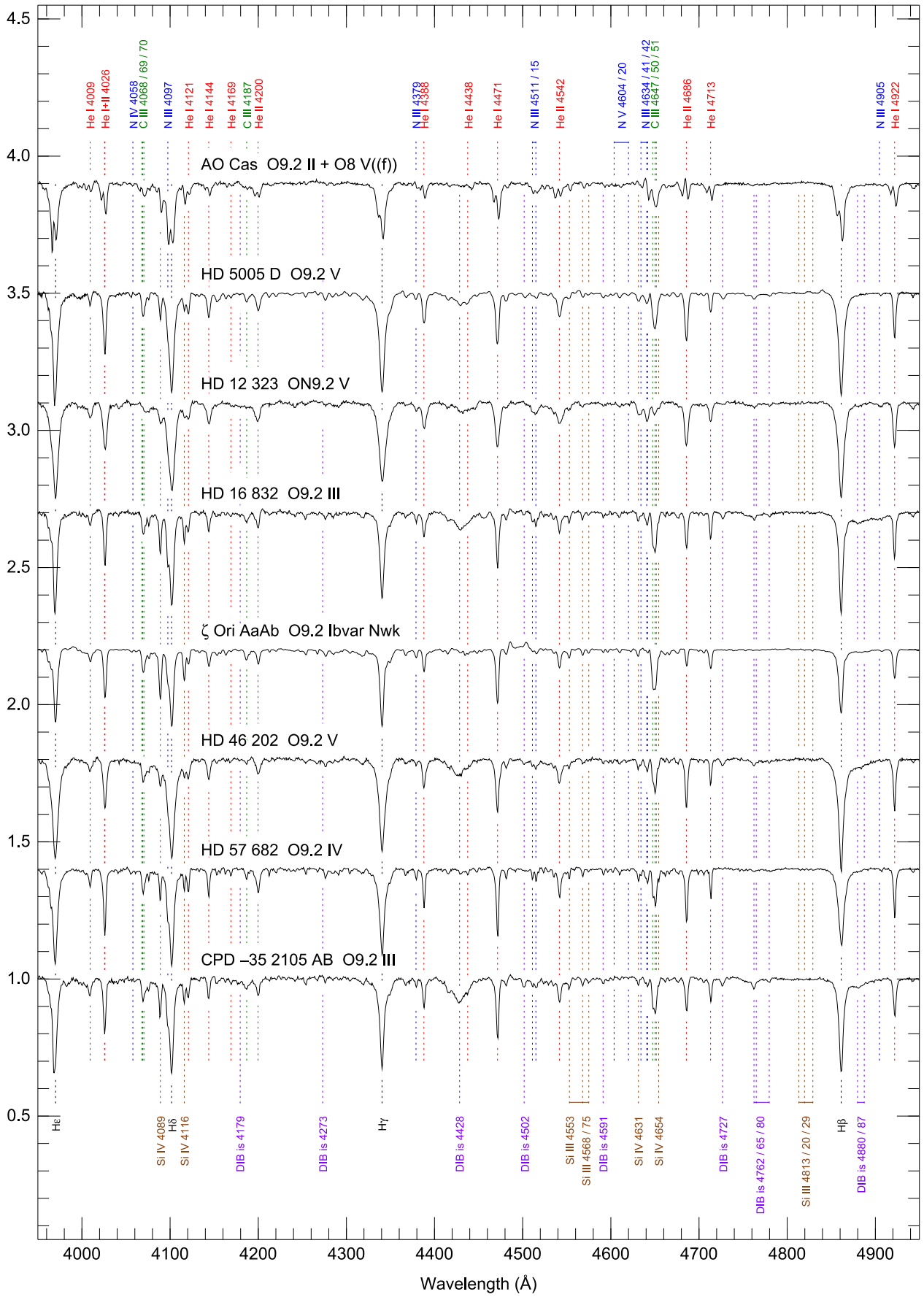


Figura 23. Espectros de estrellas O9.2. Los objetos de esta gráfica y las siguientes están ordenados por Ascensión Recta.

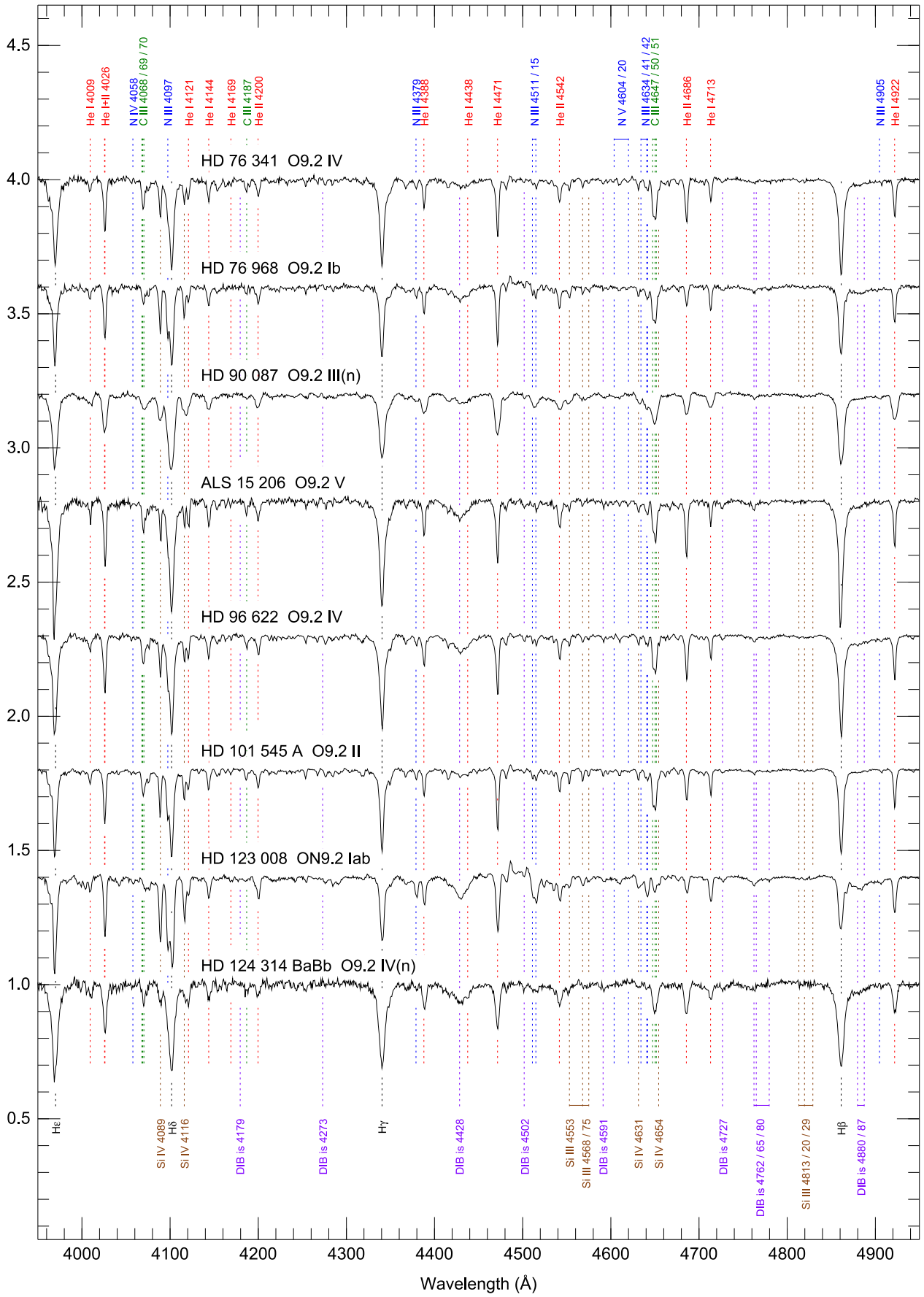


Figura 23. (Continúa).

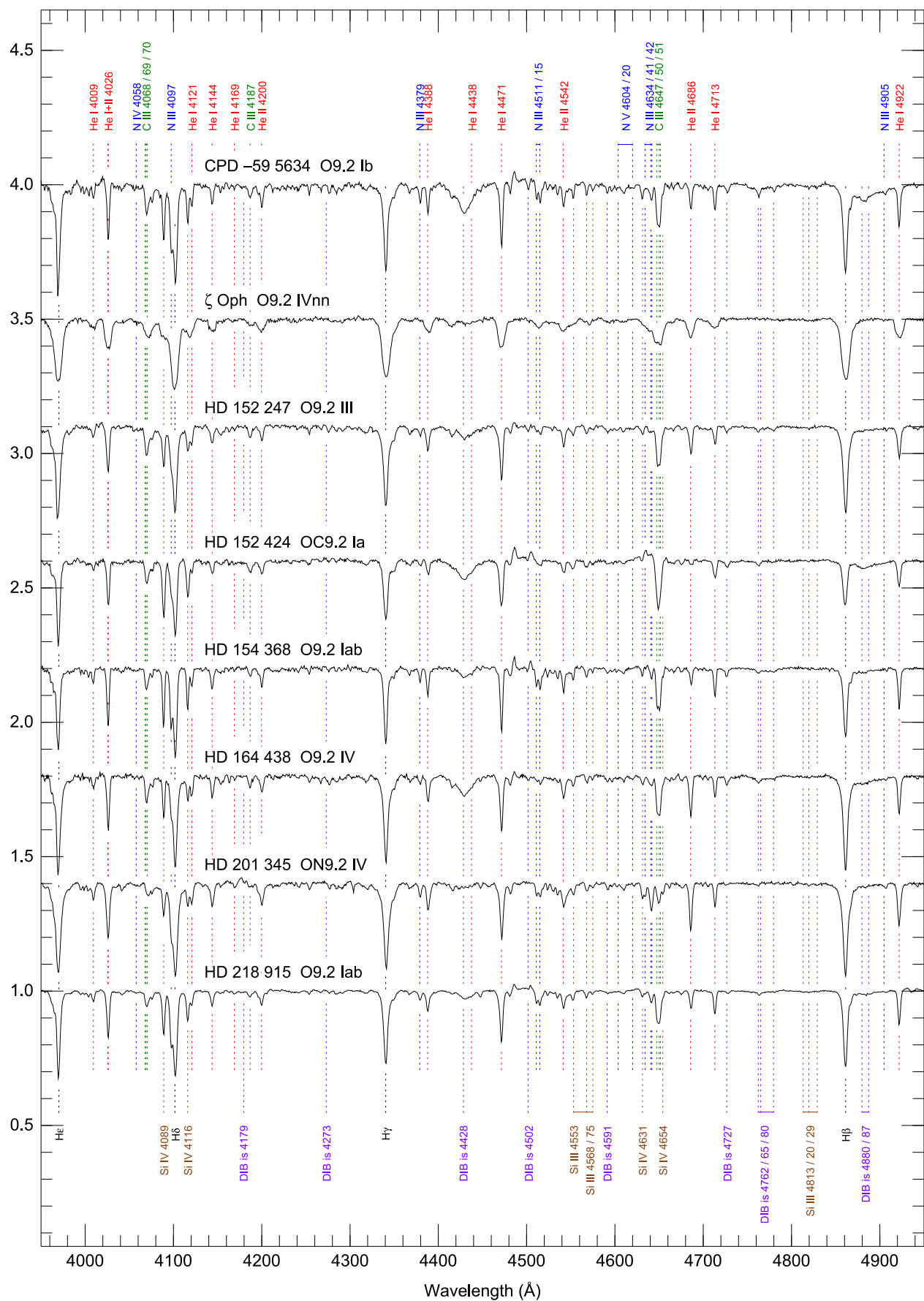


Figura 23. (Continúa).

4.3.2 Categorías peculiares

4.3.2.1 Estrellas Ofc

Esta categoría fue introducida por Walborn et al. (2010b) y ampliada en la subsección anterior (4.3.1.3) en términos cualitativos, sobre la base de la relación de intensidades máximas en C III $\lambda 4650$ a N III $\lambda 4634$, aunque sin una especificación explícita en la frontera entre casos bien definidos y marginales. Además, esa definición se complica por la aparición de amplios pedestales de emisión que subyacen a las líneas de emisión estrechas, especialmente en las supergigantes. Para mejorar esta situación, aquí hemos medido los picos estrechos de la línea de emisión con respecto a los pedestales cuando existen tanto en Ofc como en casos marginales; adoptando un valor de la relación igual a 1.0 como el límite inferior para la clasificación Ofc. Como resultado, algunas clasificaciones anteriores en términos de este parámetro han sido revisadas. Los espectros de estas estrellas se muestran en la Figura 24. Las estrellas Ofc que también son SB2 se enumeran aquí en lugar de en 4.3.2.8.

HD 5005 A. Obtuvimos espectros individuales para las cuatro componentes brillantes en este sistema (A, B, C y D) y encontramos que todas eran estrellas O. B, C y D están separadas de A a unas distancias de 1.529", 3.889" y 8.902" respectivamente (Maíz Apellániz 2010). Las componentes AB se mezclan en todas las observaciones previas (según nuestro conocimiento), lo que da como resultado un tipo espectral O intermedio. Hemos podido desentramar espacialmente el sistema AB, dando como resultado el tipo Ofc temprano para la A y O tardío para la B. La fuerte absorción de C III $\lambda\lambda 4647-4650-4652$ en este último elimina la emisión del primero en el espectro compuesto. Este sistema demuestra la importancia de tener una buena resolución espacial para el análisis de estrellas O. La componente A en este sistema aparece no resuelta en Mason et al. (2009). Ver cartas en Figura 33.

HD 15 629. El espectro es casi idéntico al de HD 5005 A. Ver cartas en Figura 33.

HDE 242 908. Penny (1996) señaló esta estrella como una posible SB2. El sufijo z se agregó en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33.

CPD -47 2963 = ALS 1216 = CD -47 4551. Walborn (1982c) clasificó este objeto como O4 III(f) pero en GOSSS es claramente una supergigante ligeramente posterior, como ya se mostró en Walborn et al. (2010b). Nuestra clasificación como O5 Ifc concuerda con la de O5 If por Garrison et al. (1977). N. R. Walborn verificó la placa original de la observación de Walborn (1982c), tomada en el 25 de noviembre de 1974, y confirmó la presencia de emisión débil en la región 4640-4650 Å y para He II $\lambda 4686$, lo que indica que el espectro no ha cambiado de manera importante en las últimas cuatro décadas. No hay diferencias apreciables entre las dos épocas observadas en GOSSS, pero en los datos de OWN es aparente una variación de velocidad radial con un período más probable de 59 días y una semi-amplitud K de 9.4 km s⁻¹ (una clasificación alternativa como O(n)fcp también es sugerida por el perfil variable de He II $\lambda 4686$ en los datos de OWN). La variabilidad podría ser causada por una compañera binaria (región de viento en colisión) o por la existencia de un campo magnético (algo no del todo sorprendente para una estrella con emisión de C III $\lambda 4650$ y He II $\lambda 4686$). La hipótesis binaria está respaldada por la detección de emisiones de radio no térmica del sistema (Benaglia et al., 2001; De Becker y Raucq 2013).

HD 93 128 = 2MASS J10435441-5932574. Este objeto en el centro de Trumpler 14 fue una de las estrellas O3 en Walborn (1982a). Su subtipo espectral fue revisado a O3.5 por Walborn et al. (2002). El sufijo ((fc))z se omitió inadvertidamente en GOSSS-DR1.0. Levato et al. (1991) indican que es una SB1, pero su velocidad radial parece ser constante en los datos de OWN. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 14). La multiplicidad visual para este objeto se midió en imágenes ACS/HRC.

HD 93 250 AB. Rauw et al. (2009) no pudieron encontrar variaciones de velocidad en este sistema, pero Sana et al. (2011b) usaron VLTI para resolverlo espacialmente en dos estrellas separadas por 1.5 mas con un Δm de 0.2 (dicha separación no puede ser resuelta por GOSSS en más de dos órdenes de magnitud). El sufijo (fc) faltaba en la clasificación espectral GOSSS-DR1.0 de este sistema O4 III. No se ven acompañantes en las imágenes ACS/HRC. Es un sistema binario con colisión de vientos (De Becker y Raucq 2013).

HDE 303 308 AB. Nelan et al. (2004) resolvieron espacialmente este sistema con HST/FGS para descubrir un par de estrellas con una separación de 15 mas y un Δm de 1.0 mag (obviamente no resuelto en GOSSS). Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

CPD -59 2641 = Trumpler 16-112. Este objeto muestra en los datos de GOSSS un espectro O6 V ((fc)). Rauw et al. (2009) utilizaron espectroscopía de alta resolución en este sistema SB2 para derivar tipos espectrales O5.5-6 V((f+?p)) y B2 V-III. Sus tipos espectrales y clases de luminosidad son compatibles con los de nuestro espectro combinado, que no muestra líneas dobles. Para verificar si el espectro primario pertenece a la categoría Of?p, obtuvimos espectros en cinco épocas diferentes entre 2008 y 2013 (una vez al año, excepto en 2009). Ninguno de los cinco espectros muestra He II $\lambda 4686$ en emisión, y C III $\lambda 4650$ parece ser constante. Por lo tanto, concluimos que esta estrella es una estrella Ofc, quedando los tipos espectrales de alta resolución como O5.5-6 V((fc)) + B2 V-III. Ver carta en Figura 33 (campo Trumpler 16).

HD 93 403. Rauw et al. (2000) clasificaron este sistema SB2 como O5.5 I + O7 V. Lo observamos tres veces en GOSSS y obtuvimos un tipo espectral de O5.5. No vemos líneas dobles, pero He II $\lambda 4686$ es variable, yendo desde un perfil P-Cygni a una condición casi neutral, como resultado de la órbita SB2. Por lo tanto, asignamos una clase de luminosidad III, que es consistente con la combinación de una enana y una supergigante. El espectro muestra C III $\lambda 4650$ mayor que N III $\lambda 4634$ en emisión; de ahí el sufijo (fc). La clasificación GOSSS-DR1.1 difiere de la de GOSSS-DR1.0.

HD 93 843. Faltaba el sufijo (fc) en la clasificación espectral GOSSS-DR1.0 de este sistema O5 III. Este sistema parece ser variable en los datos de OWN y ya fue reportado como tal por Walborn (1973b); podría ser una SB1.

ALS 18 747 = HM 1-6 = C1715-387-6. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) debido a su debilidad (Havlen y Moffat 1977). Ver cartas en Figura 33 (campo Havlen-Moffat 1).

HDE 319 699. El sufijo ((fc)) faltaba en la clasificación espectral GOSSS-DR1.0 de este sistema O5 V. Un análisis preliminar de los datos de OWN indica que este sistema es SB1 con un período de 12.62 días.

Cyg OB2-8 A = BD +40 4227 = Schulte 8 A = [MT91] 465. De Becker et al. (2004) identificaron este sistema como una binaria espectroscópica O6 + O5.5. Hemos podido separar las dos componentes de esta SB2. El tipo espectral para la primaria está de acuerdo con el resultado anterior, pero nuestro resultado para la secundaria es algo anterior. Ver cartas en Figura 33.

Cyg OB2-8 C = LS III +41 38 = [MT91] 483. La versión actual del catálogo WDS tiene Cyg OB2-8 C y D intercambiados con respecto al uso más común. Se ha encontrado que el perfil He II $\lambda 4686$ es variable y en ocasiones muestra el perfil característico de un objeto Onfp. Por analogía con sistemas similares, es posible que haya una compañera en este sistema. Ver cartas en Figura 33.

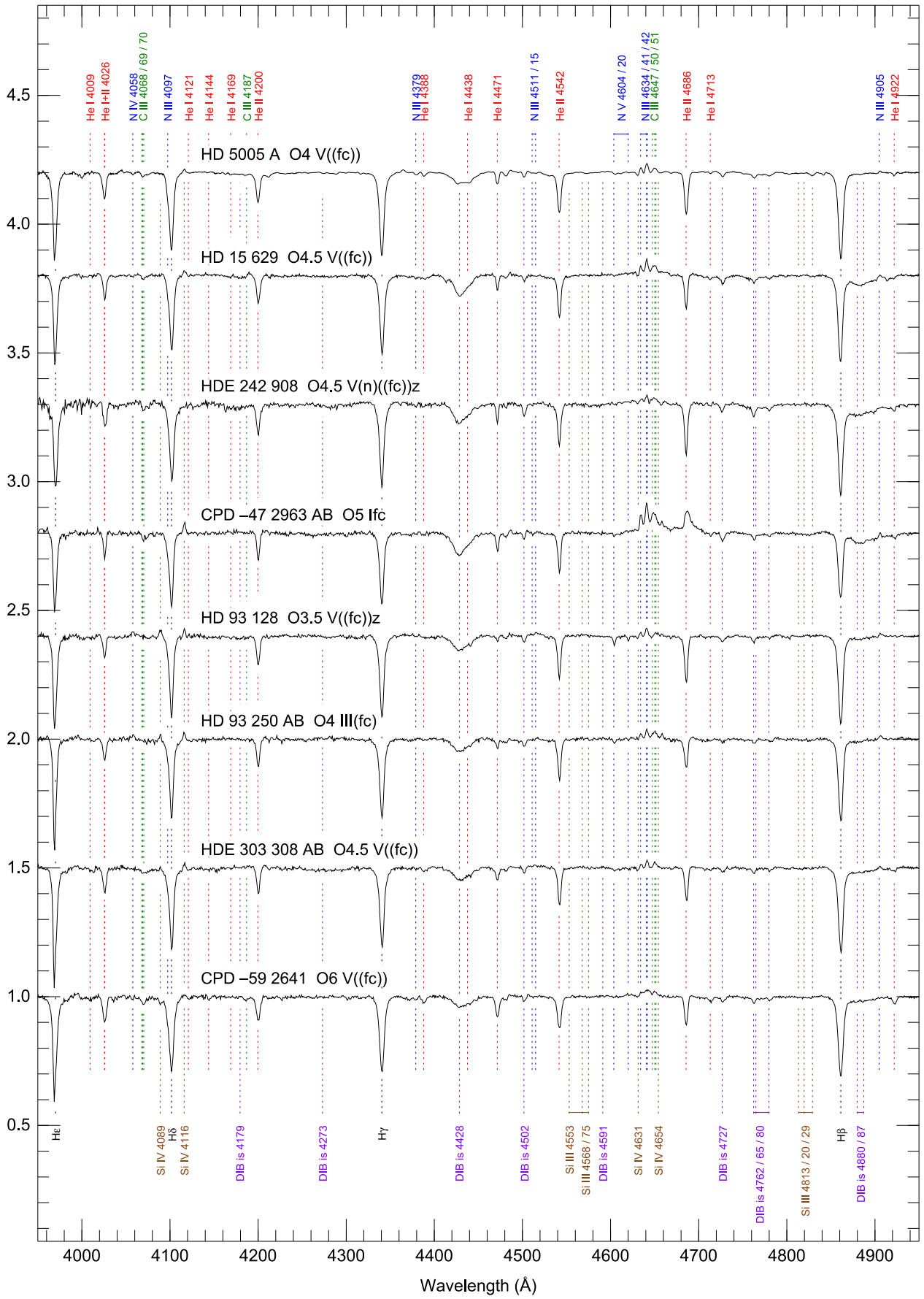


Figura 24. Espectros de estrellas Ofc.

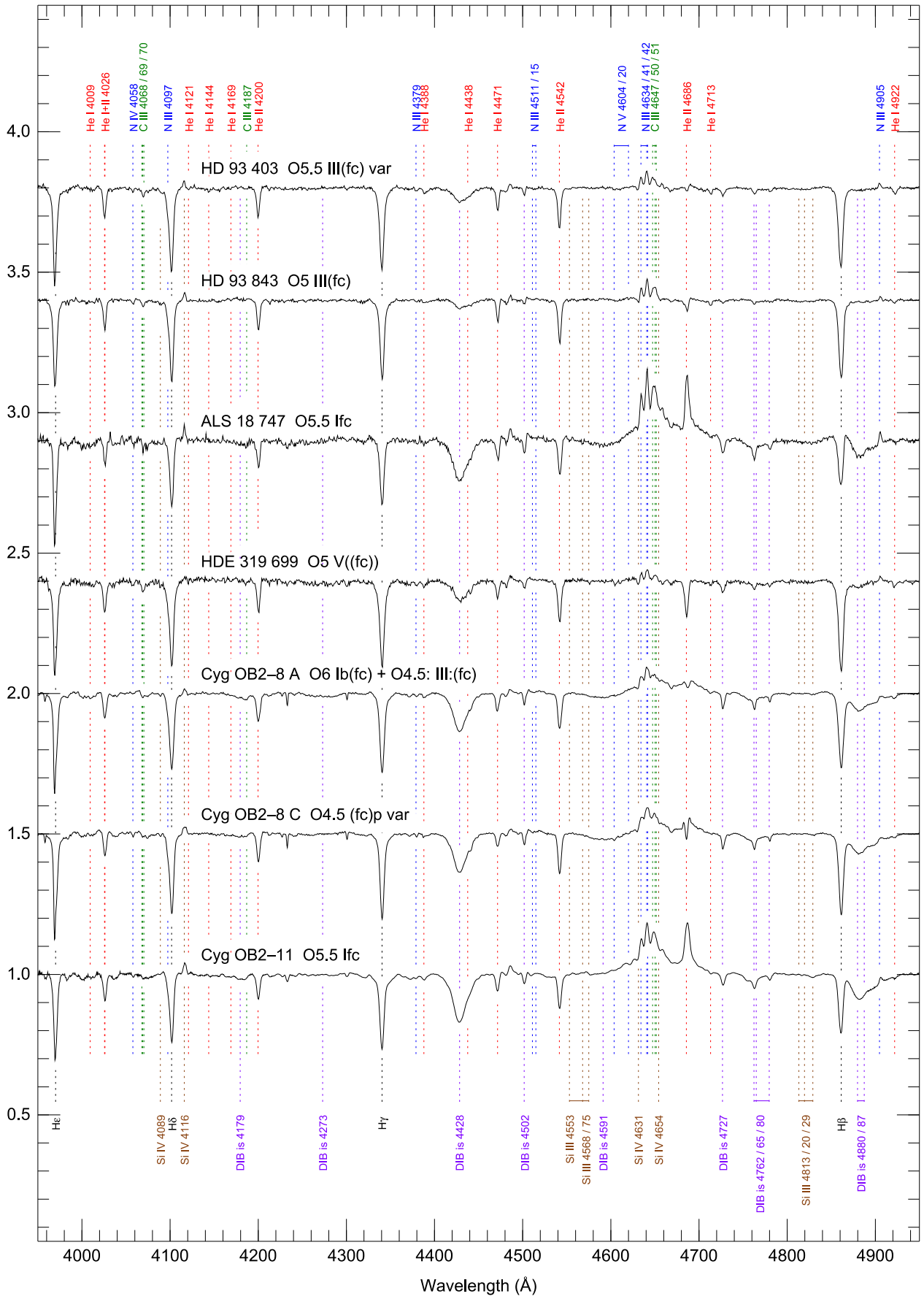


Figura 24. (Continúa).

4.3.2.2 Estrellas ON/OC

Las intensidades relativas de las líneas N III $\lambda\lambda 4634, 4640$ y C III $\lambda 4650$ están bien definidas en los espectros ON en todas las clases de luminosidad con los parámetros observacionales actuales (Walborn 1976, 2003), como se muestra en la Figura 25. Varios casos previamente marginales se han vuelto más claros, y algunos nuevos han sido añadidos. Recordamos que los casos con N III $\lambda 4640$ más fuerte que C III $\lambda 4650$ se clasifican ON, mientras que aquellos con la anterior más débil que la última, pero aún mucho más fuerte que en el espectro normal, se denotan como "Nstr" (N fuerte).

Los diferentes grados de ensanchamiento de línea entre estos espectros se especifican consistentemente en las clasificaciones. La relación entre la velocidad de rotación y el enriquecimiento superficial de nitrógeno en estrellas masivas es un tema actual de considerable interés (Maeder y Meynet 2000, Hunter et al., 2008, 2009).

Los espectros OC son quizás algo menos llamativos en estos datos, porque la resolución es marginal para demostrar la deficiencia sobresaliente de N III $\lambda 4097$ en el ala azul de H δ . Esa línea de nitrógeno tiene una profundidad comparable a Si IV $\lambda 4089$ o incluso la propia línea de Balmer, en espectros normales y ON supergigantes. C III $\lambda 4650$ es más fuerte en estrellas OC que en los espectros normales de los mismos tipos. Los casos menos extremos se denotan como "Nwk" (N débil).

Las estrellas ON/OC que también son SB2 se enumeran aquí en lugar de en la Sección 4.3.2.8.

HD 13 268. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Su naturaleza ONn fue descubierta por Mathys (1989).

HD 16 429 A. Nuestros espectros incluyen luz de las componentes Aa y Ab, separadas por 0.295" (Maíz Apellániz 2010), pero Δm es mayor que 2.0, por lo que la presencia del espectro secundario no está incluida en el nombre. Una tercera componente, B, se encuentra más lejos (6.777") y su luz se pudo separar fácilmente de la primaria. Ab es una SB2 (McSwain 2003). Ese autor da tipos espectrales de O9.5 II para Aa y O8 III-IV + B0 V? para Ab. No vemos líneas dobles en nuestros espectros. Colocamos HD 16 429 B en la ranura y obtuvimos un tipo espectral F para esa componente, de acuerdo con el catálogo HD. El sufijo Nwk se agregó en GOSSS-DR1.1. Este complejo sistema SB3 permanece sin resolver en velocidad en GOSSS, pero McSwain (2003) ha publicado un estudio de alta resolución donde se resuelve. Ver cartas en Figura 33.

δ Ori AaAb = Mintaka AaAb = HD 36 486 AaAb. Este objeto se encuentra en el complejo sistema δ Ori (Harvin et al. 2002). B y C son relativamente distantes, mientras que Ab se encuentra a una separación de 0.325" de Aa con un Δm de 1.48 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010). Aquí no podemos separar espacialmente los espectros de Aa y Ab. Aa es una binaria espectroscópica de doble línea: Harvin et al. (2002) utilizaron la separación tomográfica para dar unos tipos espectrales de O9.5 II y B0.5 III para Aa1 y Aa2, respectivamente. En nuestros espectros, no podemos detectar las líneas dobles. Aa también es una binaria eclipsante con una amplitud de 0.097 mag (Lefèvre et al., 2009). Los elementos orbitales de AaAb están dados por Zasche et al. (2009). La nueva calibración de Hipparcos da

una distancia revisada de 221^{+33}_{-25} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a), sustancialmente menor que la de la asociación Orion.

HD 48 279 A. En datos de alta resolución, este espectro aparece como ON, es decir, con $N\ III\ \lambda 4640 > C\ III\ \lambda 4650$, lo que indica que puede ser variable. En nuestras observaciones, colocamos B (a 6.86" de distancia) en la rendija y obtuvimos un tipo espectral F para esa componente. El sufijo z se agregó en GOSSS-DR1.1. Ver la Figura 33.

HD 89 137. Este objeto es un rotador rápido rico en nitrógeno (Walborn et al., 2011). De acuerdo con Levato et al. (1988), muestra una variabilidad de velocidad que podría ser causada por una compañera.

HD 91 651. Se encontró que este sistema era probablemente SB2 por Levato et al. (1988) y también es un rotador rápido rico en nitrógeno (Walborn et al., 2011). Los datos de OWN muestran claramente que es una SB2 y posiblemente una SB3. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. La clase de luminosidad se modificó en GOSSS-DR1.1.

HD 102 415. Esta estrella es un rotador muy rápido rico en nitrógeno (Walborn et al., 2011). Los datos de OWN también indican variabilidad; podría ser una SB2. La clase de luminosidad se modificó en GOSSS-DR1.1.

HD 104 565. Esta es una estrella deficiente en nitrógeno (Walborn 1976). La clase de luminosidad se modificó en GOSSS-DR1.1.

GS Mus = HD 105 056. Esta estrella rica en nitrógeno es variable (Levato et al., 1988) y podría ser un objeto de baja masa (¿PAGB?) (Walborn et al., 2011). Los datos de OWN muestran variabilidad con un período de 0.71 días que podría deberse a que el sistema es SB1, a pulsaciones o a manchas en rotación.

HD 117 490. Esta estrella es un rotador muy rápido rico en nitrógeno (Walborn et al., 2011). Podría ser una binaria espectroscópica según los datos de OWN. El índice n se cambió en GOSSS-DR1.1.

HD 150 574. Este sistema es un rotador rápido rico en nitrógeno (Walborn et al., 2011). Levato et al. (1988) sugirieron que es una SB2, pero no ha sido confirmado con datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS.

HD 152 003. Esta es una de las estrellas débiles de nitrógeno originales en Walborn (1976). El sufijo Nwk se omitió por error en GOSSS-DR1.0 y el tipo espectral fue O9.5 en lugar de O9.7.

HD 152 147. Esta es una de las estrellas deficientes en nitrógeno originales en Walborn (1976). El sufijo Nwk fue omitido por error en GOSSS-DR1.0. Williams et al. (2013) indicó que es una SB1 con un período de 13.8194 días, pero un análisis OWN preliminares sugieren que se trata de una SB2 con una órbita diferente.

HD 152 249. Esta estrella deficiente en nitrógeno (Walborn 1976) muestra pequeñas variaciones de velocidad en los datos de OWN. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

HD 154 811. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como OC9.7 Ia y aquí la reclasificamos como OC9.7 Ib. La línea H α es muy variable en datos de OWN.

HD 191 423. Esta estrella es el rotador más rápido de tipo O conocido hasta la fecha (Howarth y Smith 2001). Tiene el prototipo de espectro ONnn (Walborn 2003).

HD 191 781. Este es el prototipo de estrella ON tardía supergigante.

BD +36 4063. Este objeto es un sistema binario en interacción. (Williams et al., 2009). Su naturaleza ON fue descubierta por Mathys (1989).

HD 218 195 A. Se agregó un sufijo Nstr en GOSSS-DR1.1. Tiene una componente B a una separación de 0.919'' con un Δm de 2.56 mag en la banda z que fue detectado por Maíz Apellániz (2010). Pudimos extraer su espectro independientemente de A y obtuvimos un tipo espectral de B temprano.

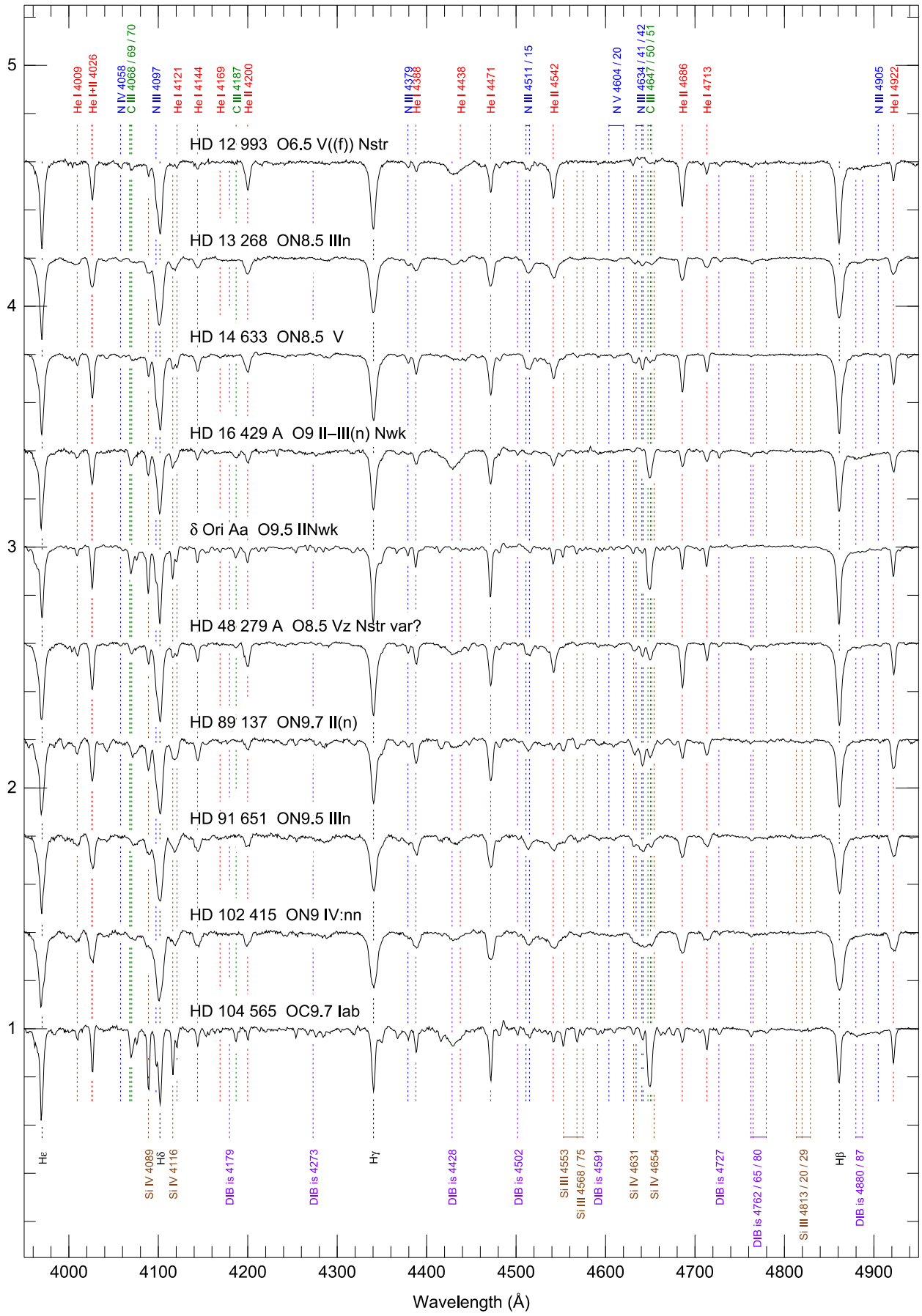


Figura 25. Espectros de estrellas ON/OC.



Figura 25. (Continúa).

4.3.2.3 Estrellas Onfp

La categoría Onfp fue definida por Walborn (1972, 1973b) para describir los espectros que muestran emisión en He II $\lambda 4686$ con una inversión de absorción. Independientemente de esa característica, casi todos ellos tienen líneas de absorción más anchas indicativas de rotación rápida, como se denota por la "n". Conti y Leep (1974) designaron estos espectros como Oef, sugiriendo una relación con las estrellas Be. Walborn et al. (2010b) han investigado una muestra de estos objetos en las Nubes de Magallanes, enumerando solo ocho homólogos galácticos conocidos; varios nuevos se incluyen aquí. Las propiedades de la categoría se discuten extensamente en ese artículo. Los espectros para las estrellas presentes en esta categoría se muestran en la Figura 26. Las estrellas Onfp que también son SB2 se enumeran aquí en lugar de en la Sección 3.2.6.

Uno de los objetos galácticos anteriores, HD 192 281, no muestra las características Onfp en nuestros datos y no está incluido en esta categoría. HD 192 281 tiene un perfil P Cygni débil en He II $\lambda 4686$ en nuestro espectro (es decir, no hay emisión hacia el azul del componente de absorción), aunque la variabilidad no puede descartarse por completo; ver también De Becker y Rauw (2004).

AO Cas y MY Ser son sólo "Onfp" intermitentemente, mientras que Linder et al. (2008) muestran perfiles complejos y variables de He II $\lambda 4686$ en función de la fase en HD 47 129. Excepcionalmente, HD 47 129 y MY Ser no tienen líneas de absorción anchas, mientras que AO Cas no es formalmente Of debido a su tipo espectral tardío. Hay que destacar que tres de los cinco nuevos espectros Onfp incluidos en este trabajo corresponden a binarias espectroscópicas bien conocidas.

AO Cas = HD 1337. Este objeto es una binaria eclipsante con una amplitud de 0.198 mag (Lefèvre et al., 2009). Pudimos detectar su carácter SB2, así como las alas de emisión débil en He II $\lambda 4686$ en una de las observaciones, lo que lleva a su asociación con la categoría Onfp. La clase de luminosidad para la secundaria ha cambiado en GOSSS-DR1.0. Nuestro tipo espectral para la secundaria es el mismo que el de Bagnuolo y Gies (1991), pero el de la primaria es ligeramente diferente. Para ambas componentes, se introdujeron pequeños cambios en GOSSS-DR1.1. Este espectro se encuentra en la Figura 23 al ser también O9.2.

HD 14 434. Este objeto fue estudiado por De Becker y Rauw (2004).

HD 14 442. Este objeto fue estudiado por De Becker y Rauw (2004).

HD 47 129 = Estrella de Plaskett. Este objeto es una SB2 bien conocida; Linder et al. (2008) dan tipos espectrales de O8 III/I + O7.5 III y sugieren que es un sistema binario en una etapa posterior de RLOF (rebosado del lóbulo de Roche). No detectamos claramente líneas dobles en nuestros espectros.

ζ Pup = HD 66 811 = Naos. Esta es una de las dos estrellas O visualmente más brillantes en el cielo (la otra es ζ Ori Aa), hasta el punto que presenta un desafío para ser observada con un telescopio de 2-4 m a esta resolución (el tiempo mínimo de exposición para nuestro espectro de LCO es 1 s) y requiere un filtro de densidad neutra. El calificador p se agregó en

GOSSS-DR1.1 (ver Conti y Niemelä 1976a y Walborn et al., 2010a). La nueva calibración de Hipparcos da una distancia revisada de 335^{+12}_{-11} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).

LM Vel = HD 74 194. Barbá et al. (2006) detectaron variaciones en la velocidad radial y en H α que sugieren que este sistema es SB1 y posiblemente la contrapartida óptica de la fuente INTEGRAL de rayos X IGR J08408-4503. El sufijo (f) se omitió por error en GOSSS-DR1.0.

HD 76 556. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O5.5 Vn((f)). Aquí hacemos pequeños ajustes al subtipo espectral, la clase de luminosidad y el índice de rotación y lo movemos a la categoría Onfp sobre la base de las débiles alas de emisión en He II $\lambda 4686$ reveladas por los datos de GOSSS (algunos de estos cambios también son con respecto a GOSSS -DR1.0).

HD 94 370 A. Esta estrella es una binaria espectroscópica con un período de 2.8 días según los datos de OWN. Es posiblemente una SB2, aunque la detección de la estrella secundaria es marginal en los datos disponibles. Tiene una compañera con una separación de 3.6" y un Δm de 1.8 mag (según WDS) que pudimos resolver espacialmente en nuestro espectro de GOSSS: es una estrella B temprana. La clase de luminosidad fue eliminada en GOSSS-DR1.1.

HD 96 670. Walborn (1972) clasificó esta estrella como O8p. Aquí la clasificamos como O8.5(n)fp var, con un perfil He II $\lambda 4686$ variable (cambia con respecto a la clasificación en GOSSS-DR1.0). Según Stickland y Lloyd (2001) es una SB1 con un período de 5.5296 días.

HD 112 244. Según datos de OWN, este objeto es una SB2 con un período de 7.5 días. El sufijo p se agregó en GOSSS-DR1.1. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS.

HD 117 797. Este objeto es un nuevo miembro de la categoría Onfp encontrada por GOSSS; es una SB2 según los datos de OWN, aunque no hemos visto líneas dobles en los datos de GOSSS. La clasificación fue modificada en GOSSS-DR1.1.

MY Ser = HD 167 971. Este sistema fue clasificado como O8 I + O5-8 V + O5-8 V por Leitherer et al. (1987). De Becker et al. (2005) analizaron las observaciones XMM y sugirieron que la emisión de rayos X se origina en la interacción entre los vientos de las dos estrellas de la secuencia principal, con la supergigante ubicada más lejos. Lefèvre et al. (2009) encontraron eclipses con una amplitud de 0.237 mag. En nuestros datos, detectamos que el sistema es al menos SB2, con una componente O8 Iafp principal y un espectro O4/5 secundario. La emisión de radio fue estudiada por Blomme et al. (2007). Este sistema no se pudo resolver con HST/FGS en ~ 10 mas (E. Nelan 2010, comunicación privada). Ver la Figura 33.

V442 Sct = HD 172 175. Esta estrella fue sugerida como Onfp por Walborn (1982) y se confirma claramente aquí.

HD 175 754. El perfil Onfp débil de He II $\lambda 4686$ que se menciona aquí se descubrió por primera vez en un estudio de alta resolución en curso. El sufijo (f) se cambió a ((f)) en GOSSS-DR1.1 para seguir los criterios de la Tabla 13. Tiene alas de emisión He II $\lambda 4686$ muy débiles pero definidas, lo que la convierte en una estrella Onfp.

λ Cep = HD 210 839. Es uno de los prototipos originales de objetos Onfp. La nueva calibración de Hipparcos da una distancia revisada de 649^{+112}_{-83} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).

BD +60 2522. Esta estrella es uno de los prototipos originales de objetos Onfp.

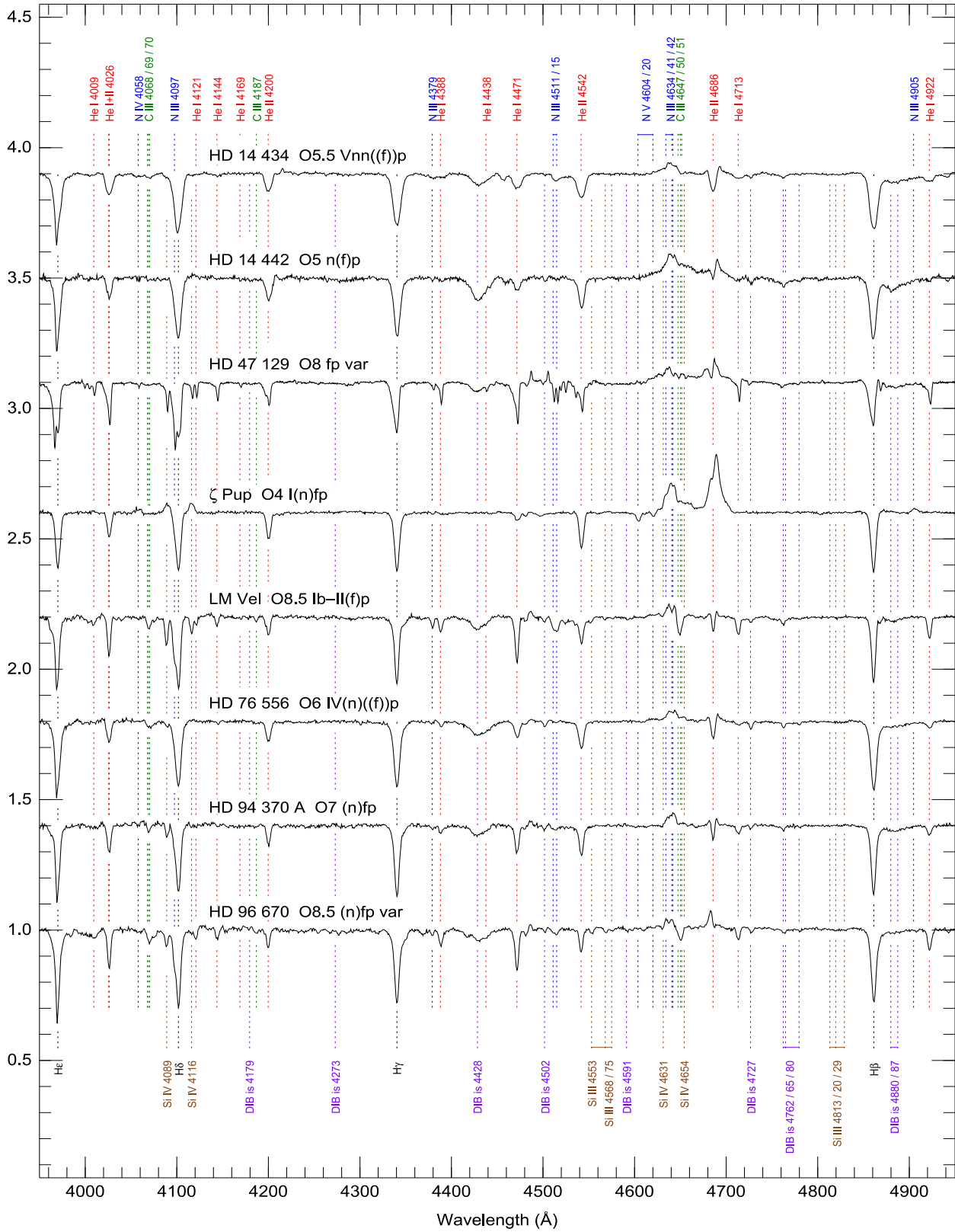


Figura 26. Espectros de estrellas Onfp.

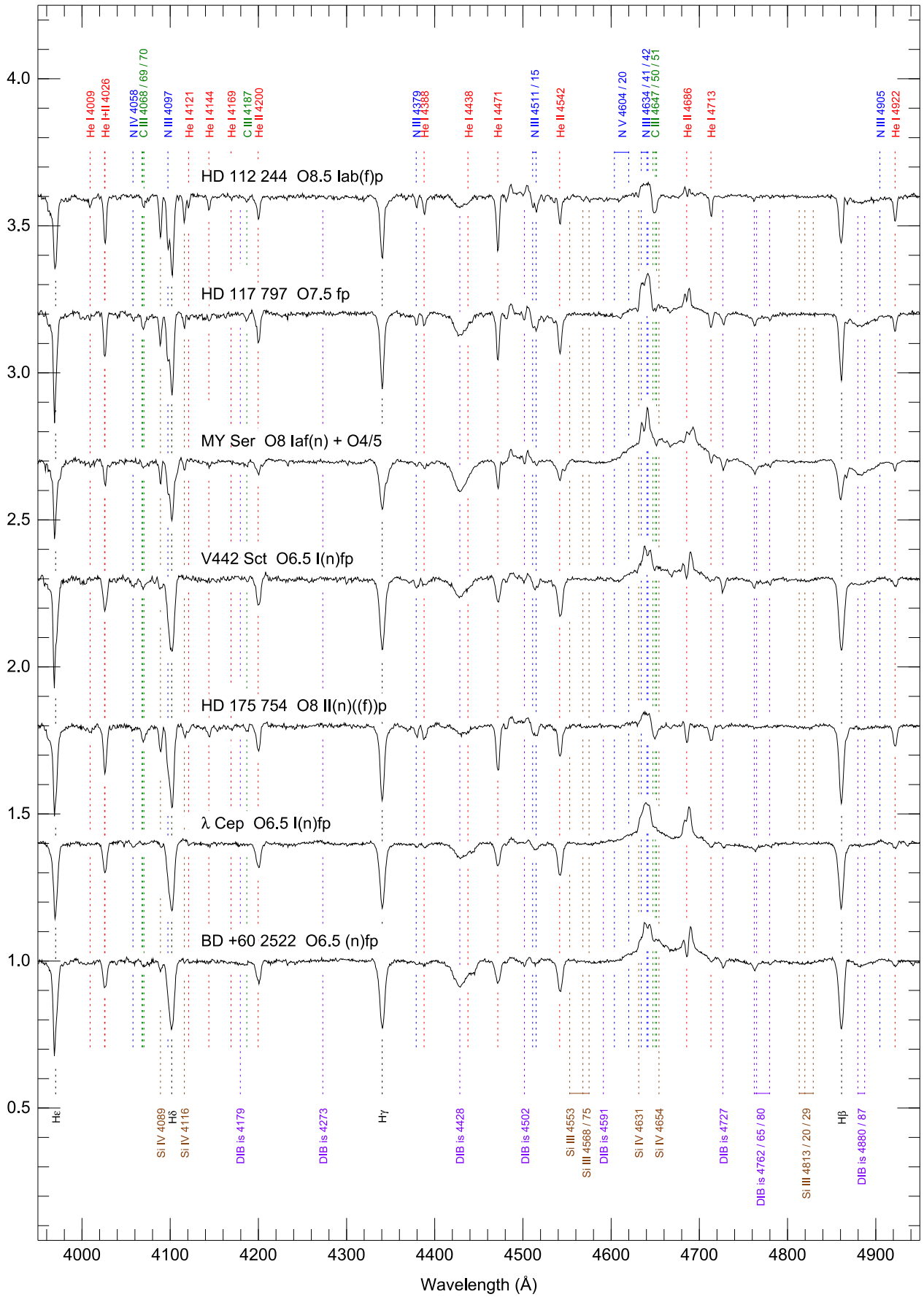


Figura 26. (Continúa).

4.3.2.4 Estrellas Of?p

Esta clase de objetos fue recientemente discutida por Walborn et al. (2010a). Se han detectado campos magnéticos en tres de los cinco miembros galácticos conocidos de la clase. Los espectros para las estrellas de la presente muestra en esta categoría se muestran en la Figura 27.

HD 108. Esta estrella aparece como O8 en nuestras observaciones de 2007 y 2009. Eso no es sorprendente ya que actualmente se encuentra en el mínimo de su ciclo magnético/rotacional de ~ 50 años (Martins et al., 2010).

NGC 1624-2 = MFJ Sh 2-212 2 = 2MASS J04403728+ 5027410 = ALS 18 660. Este objeto no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Su carácter Of?p fue detectado por Walborn et al. (2010a). Las clasificaciones anteriores fueron dadas por Moffat et al. (1979) y Chini y Wink (1984). Wade et al. (2012) agregó el sufijo c a esta estrella, siendo la estrella de tipo O con el campo magnético más fuerte medido hasta la fecha. Colocamos NGC 1624-9 en la ranura y obtuvimos un tipo espectral F para esa componente. Ver cartas en Figura 33.

CPD -28 2561 = CD -28 5104. Walborn (1973b) y Garrison et al. (1977) informaron que esta estrella es un tipo Of peculiar de naturaleza indeterminada. Rodolfo Barbá descubrió su naturaleza Of?p, cómo se informa en Walborn et al. (2010b).

HD 148 937. Esta estrella fue una de las dos estrellas Of?p originales (Walborn 1972). Se diferencia del resto en su clase en que solo muestra pequeños cambios fotométricos en escalas de tiempo de siete días en comparación con variaciones más grandes en escalas de tiempo más largas. El período fue descubierto a través de las variaciones en su perfil H β . Una posible explicación es que el objeto se ve hacia el polo (Nazé et al., 2012c y las referencias en él). También es el único miembro de su clase involucrado con una nebulosa circunestelar axialmente simétrica (NGC 6164-6165).

HD 191 612. Este objeto es un rotador oblicuo magnético con un período de 538 días (Wade et al., 2010) y una SB2 con un período de 1542 días (Howarth et al., 2007). La última referencia estima el tipo espectral de la secundaria como B1. En nuestros datos de 2007, la estrella aparece en el estado "mínimo" de O8 en su ciclo de rotación y en nuestros datos de 2009 en el "máximo" de O6.

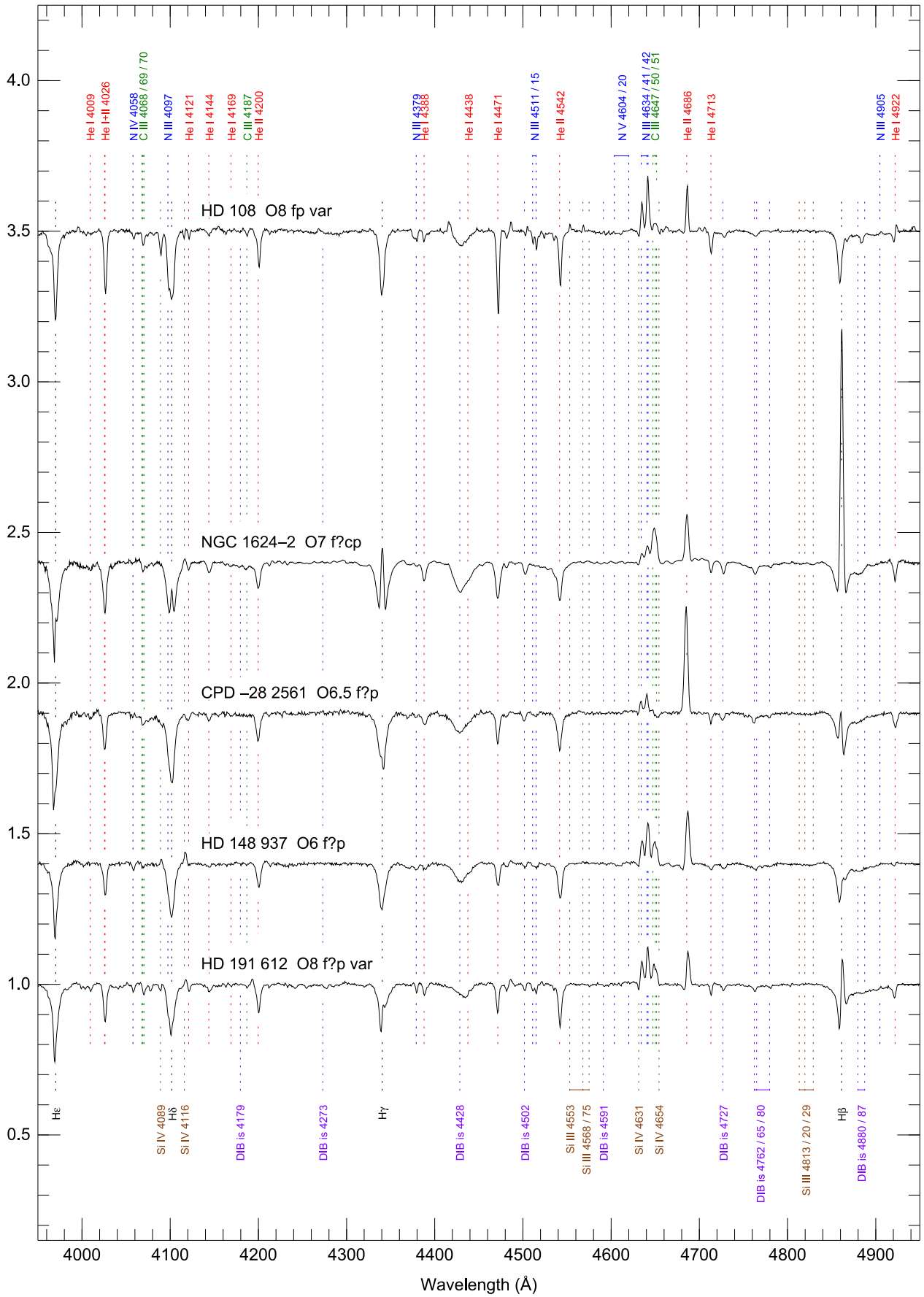


Figura 27. Espectros de estrellas Of?p

4.3.2.5 Estrellas Oe

Las propiedades de las estrellas Oe son discutidas por Negueruela et al. (2004). Los espectros de nuestras estrellas en esta categoría se muestran en la Figura 28.

HD 17 520 B. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Está separado por solo 0.316" de la componente A con un Δm de 0.67 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010). Pudimos separar los espectros de A y B y detectamos que las líneas de emisión que hacen que el espectro integrado tenga un tipo Oe (Walter 1992, Hillwig et al., 2006) se originan en la B. También hay evidentemente una fuerte emisión de He I que les da a esas líneas una doble apariencia. Consulte la Figura 33 para ver una carta.

X Per = HD 24 534. Llama la atención los perfiles de He I sorprendentemente diferentes dentro de los espectros Oe individuales, por ejemplo, la doble emisión solo en He I $\lambda 4713$ en este espectro.

V1382 Ori = HD 39 680. Observar las líneas dobles de He I $\lambda\lambda 4713, 5016$ en este espectro y la ausencia de tales perfiles en otras líneas de He I.

HD 45 314. Mason et al. (1998) indican la existencia de una componente B a una separación de 0.05". Sin embargo, el Δm no está dado, por lo que su presencia no está incluida en el nombre del objeto.

HD 60 848. Observar las líneas dobles de He I $\lambda\lambda 4713, 5016$ en este espectro y la ausencia de tales perfiles en otras líneas de He I.

HD 93 190. Esta estrella en la nebulosa Carina no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004)

HD 120 678. Esta estrella Oe experimentó un evento tipo "cascarón" en 2008 (Gamen et al., 2012) que se detectó con datos de OWN y GOSS.

HD 155 806 = V1075 Sco. Esta estrella ha sido históricamente considerado como una estrella Oe (ver Negueruela et al., 2004 por su perfil H α). En nuestro espectro azul-violeta, H β está parcialmente lleno, pero no lo suficiente como para mostrar una emisión, de ahí el sufijo (e). El sufijo ((f)) z se introdujo en GOSSS-DR1.1.

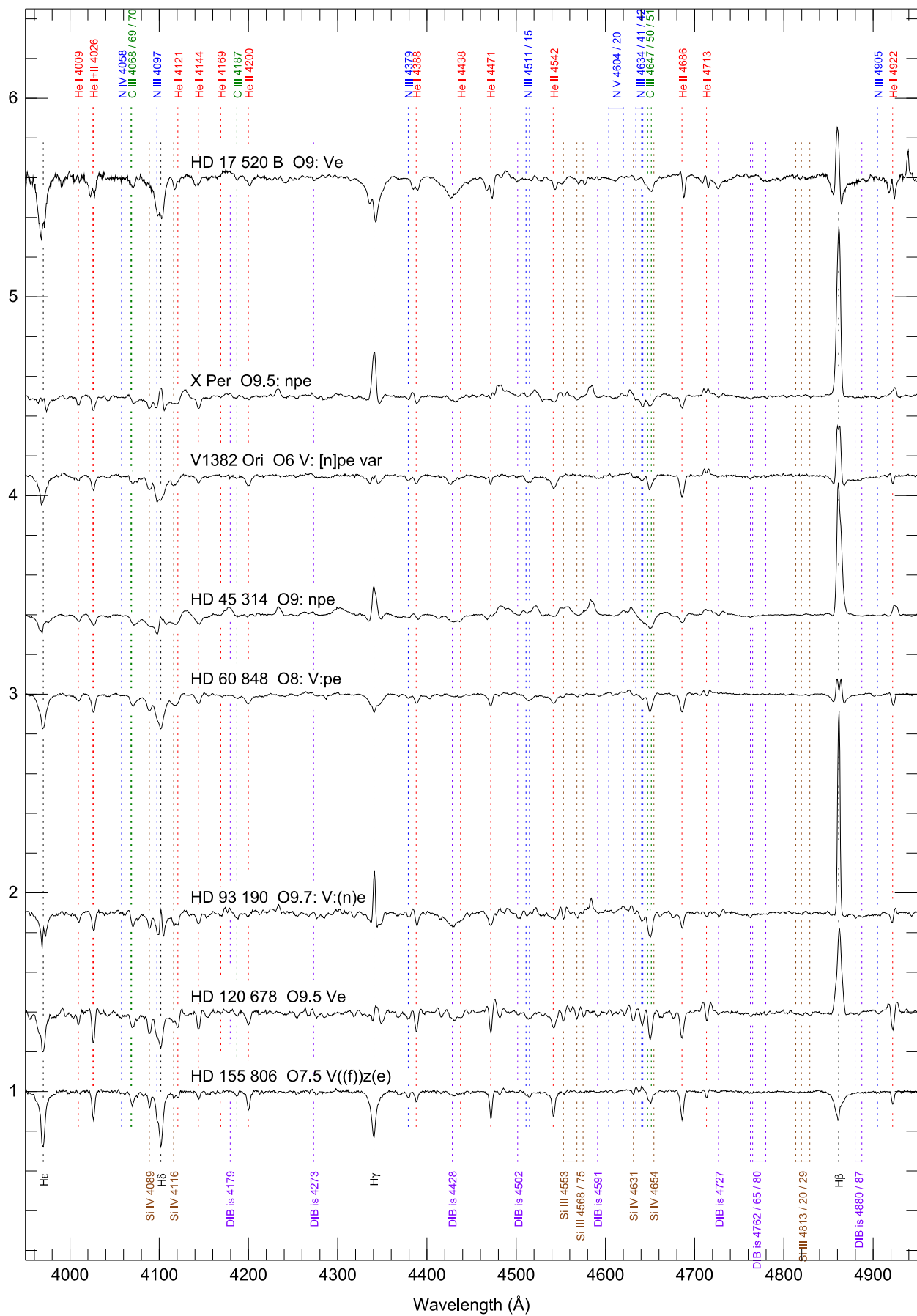


Figura 28. Espectros de estrellas Oe

4.3.2.6 Estrellas tempranas Of/WN

Walborn (1971b) fue el primero en notar una transición morfológica suave entre las primeras supergigantes O y la secuencia WN de líneas estrechas, alta luminosidad y ricas en H. Walborn (1982a) introdujo la clasificación híbrida O3 If */WN6 para Sk -67 22, el primer objeto de transición bien definido. Dichos objetos se denominan estrellas Of tempranas/WN o estrellas "barra caliente" (véanse más abajo la categoría "barra fría") y se cree que son estrellas muy masivas, con un núcleo de fusión de hidrógeno, en un estado evolutivo intermedio, o al menos en fase de desarrollo de vientos. Crowther y Walborn (2011) establecieron el perfil H β como el criterio morfológico para distinguir entre las tres categorías relacionadas: está en absorción en las estrellas O2-3.5 If*, tiene perfil P-Cygni en las estrellas O2-3.5 If */WN5-7 (estrellas "barra caliente"), y está en emisión en los objetos WN5-7. Algunas de las estrellas "barra" tempranas tienen número WR por razones históricas, aunque ya no se consideran estrellas WR desde el punto de vista morfológico. Los espectros se muestran en la Figura 29.

SS 215 = WR 20aa. Esta O2 If */WN5 fue descubierta por Roman-Lopes et al. (2011) y podrían haber sido expulsada del cúmulo galáctico masivo y joven Westerlund 2. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) debido a su débil magnitud.

HD 93 162 = WR 25. Este sistema fue incluido en la categoría "barra caliente" por Crowther y Walborn (2011) sobre la base de su perfil P-Cygni H β . Gamen et al. (2006) presentaron la primera órbita SB1 e indicaron que algunas de las líneas de absorción variaban en antifase, lo que indica que se originaron en la secundaria. La secundaria fue detectada claramente por Gamen et al. (2008). Este objeto no fue incluido en Maíz Apellániz et al. (2004) ya que en ese momento se pensaba que era una estrella WR en lugar de una Of/WN temprana. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16) y la Figura 37 para una imagen ACS/HRC. En las imágenes ACS/HRC existentes, detectamos una compañera visual previamente no publicada. Tiene una separación de 790 mas, un ángulo de posición de 353° y un ΔV de 5.8 mag. La magnitud y los colores son consistentes con una estrella de $\sim 8 M_{\odot}$

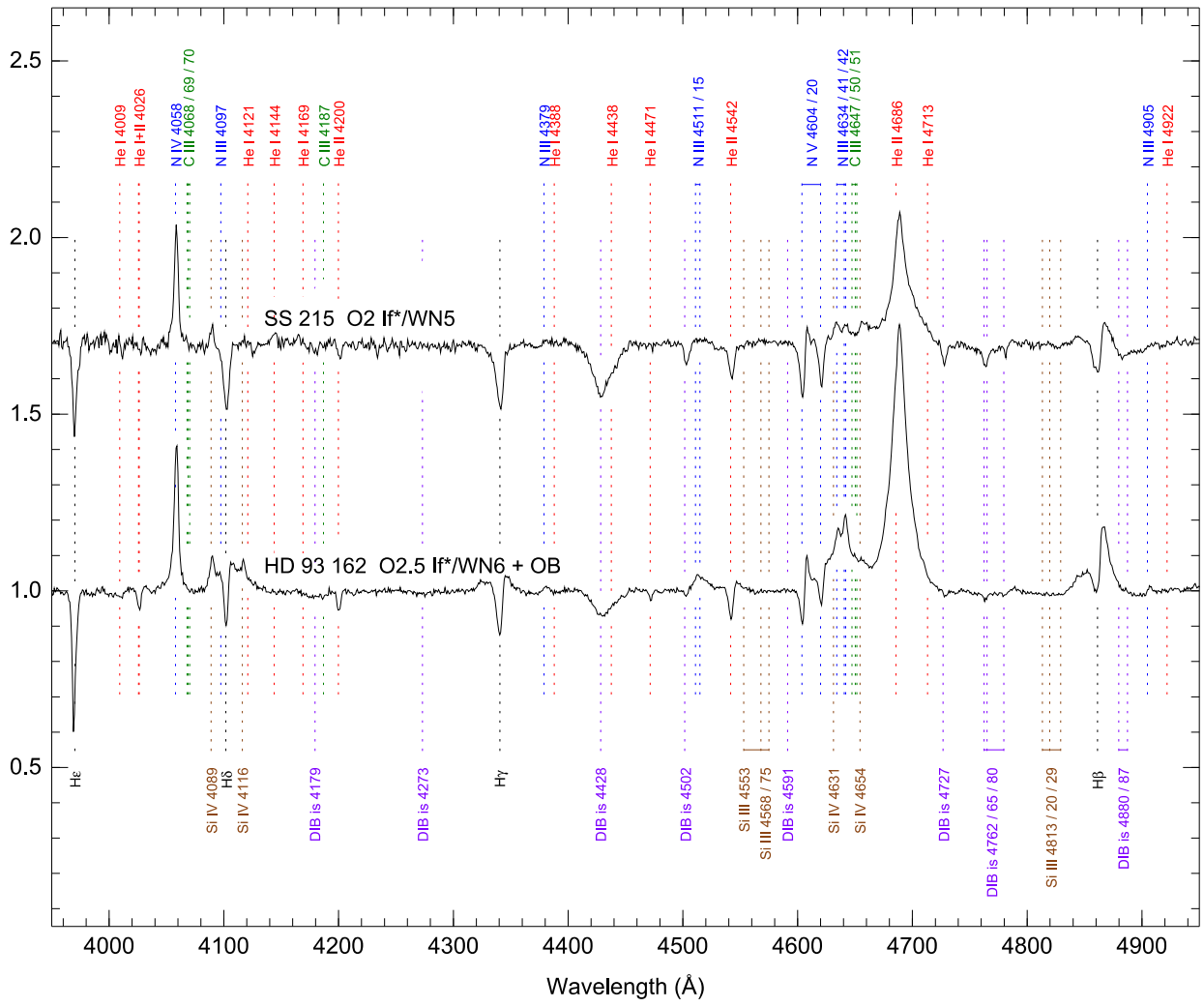


Figura 29. Espectros de estrellas Of/WN.

4.3.2.7 Estrellas O Iafpe

Walborn (1982b) y Bohannon y Walborn (1989) introdujeron un segundo tipo de las estrellas "barra", cuyos miembros se denominarán estrellas O Iafpe o WNVL (WN muy tardía), dependiendo respectivamente de si hay o no líneas de absorción distintivas presentes en sus espectros (ver también Walborn y Fitzpatrick 2000). Estos espectros se pueden distinguir de sus homólogos más calientes por la ausencia de la línea de emisión N IV λ 4058 utilizada para clasificar los espectros calientes, mientras que en cambio los espectros fríos pueden contener emisiones de N II λ 3995. La nomenclatura compuesta Of tardías/WN o "barra fría" ya no se utilizará en las clasificaciones detalladas por dos razones importantes: (1) incluimos aquí dos estrellas de tipo relativamente temprano en la categoría O Iafpe; y (2) una diferencia significativa con respecto a la categoría Of tempranas/WN es que los objetos más fríos no son una categoría intermedia entre las estrellas Of y WN, sino más bien son estrellas que pueden describirse alternativamente como una u otra. De hecho, esta distinción a veces implícita entre las dos categorías de "barra" ha causado cierta confusión en la literatura. Aquí seguiremos el criterio de clasificar una estrella como O Iafpe cuando He I λ 4471 tiene un perfil P Cygni (que generalmente introduce cierta incertidumbre en la subclase espectral, como se indica mediante ":"); si esa línea está en absorción pura, el espectro es un tipo Of normal. La morfología compuesta combinada de la región H δ y generalmente de líneas de emisión más intensas también distinguen los espectros O Iafpe de los Of normales. Los espectros se muestran en la Figura 30. No hay estrellas WNVL en la muestra presente de acuerdo con nuestros criterios; sin embargo, Crowther (2007) incluye algunos de nuestros objetos O Iafpe en sus clases WN9-10 (ver también Walborn 2009a).

LS 2063. Esta estrella fue descrito por Walborn y Fitzpatrick (2000) y es una supergigante extrema, con fuerte emisión de He II λ 4686 y N III λ 4634-40-42, así como H β mostrando un perfil P-Cygni. Los espectros de OWN indican variabilidad. El sufijo fue cambiado en GOSSS-DR1.1.

HD 152 408 = WR 79a. Walborn (1972) clasificó esta estrella como O8 Iafpe.

HD 152 386 = WR 79b. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O6: Iafpe. En WDS dan una compañera con una separación de 0.6" pero sin un valor para Δm .

HD 153 919 = V884 Sco. Este sistema es una SB1 con un período de 3.41 días y es la contraparte óptica de la binaria de rayos X 4U 1700-37 (Hutchings et al., 1973; Ankay et al., 2001; Clark et al., 2002; Hammerschlag-Hensberge et al. 2003).

LS 4067 AB = HM 1-2 AB = C1715-387-2 AB. Este objeto es el miembro más antiguo de la categoría OIafpe. Su tipo espectral fue cambiado de O4 a O4.5 en GOSSS-DR1.1. Mason et al. (2009) encuentran una compañera con la separación de 1.3" y un Δm de 1.2 mag que nosotros no pudimos resolver espacialmente. Ver la Figura 33 (campo Havlen-Moffat 1).

HDE 313 846 = WR 108. Walborn (1982c) clasificó esta estrella como O7: Iafpe.



Figura 30. Espectros de estrellas O Iafpe

4.3.2.8 Binarias espectroscópicas dobles y triples

En la última parte de esta subsección, incluimos las binarias espectroscópicas de doble (SB2) y triple (SB3) línea que no pertenecen a ninguna de las otras categorías peculiares (ver Figura 31). Más que para cualquier otra categoría peculiar, la pertenencia en esta categoría está determinada por la resolución espectral y la cobertura temporal, dados los grandes rangos de diferencias en velocidad y períodos existentes entre las binarias espectroscópicas masivas. Por lo tanto, hemos incluido en esta categoría objetos que han sido identificados como SB2 o SB3 por otros autores (en la mayoría de los casos usando espectroscopía de más alta resolución) pero que no se detectan en nuestros espectros. En esos casos, señalamos la referencia relevante. Nuestras clasificaciones se obtuvieron con MGB variando siete parámetros de entrada: tipos espectrales, clases de luminosidad y velocidades de ambas componentes (primaria y secundaria), y fracción de flujo de la secundaria.

BD +60 497. Pudimos detectar el carácter SB2 de este objeto.

HD 15 558 A. La componente B está ubicada a separación de 9.883" y un Δm de 2.81 mag en la banda z y resultó tener un tipo espectral B temprano. De Becker et al. (2006) encuentran que A es una binaria espectroscópica de doble línea con tipos espectrales O5.5 III(f) + O7 V y sugieren que podría ser triple porque la masa mínima es muy grande. Nuestro espectro no muestra evidencia de componentes de velocidad múltiple, pero las líneas observadas son anchas. Este objeto tiene C III $\lambda 4650$ en emisión, pero no es lo suficientemente intenso como para poner un sufijo c. Ver cartas en Figura 33.

HD 17 505 A. Pudimos separar el espectro de la componente B, ubicado a una separación de 2.153" y con un Δm de 1.75 en la banda z (Maíz Apellániz 2010). Hillwig et al. (2006) encuentran que este sistema es SB3O, con tipos espectrales O6.5 III((f)) + O7.5 V((f)) + O7.5 V((f)). El sufijo ((f)) se cambió a (f) en GOSSS-DR1.1, de acuerdo con las reglas en la Tabla 13. No se detectan líneas dobles en nuestros espectros. Ver cartas en Figura 33.

HD 18 326. Pudimos detectar el carácter SB2 de este objeto. Se agregó el sufijo z y se quitó el sufijo (n) en GOSSS-DR1.1 para la primaria de este sistema SB2.

CC Cas = HD 19 820. Hill et al. (1994) dan tipos espectrales de O8.5 III + B0 V para esta binaria espectroscópica de doble línea. Lefèvre et al. (2009) detecta eclipses con una amplitud de 0.108 mag. La naturaleza SB2 del objeto se manifiesta en asimetrías en algunas de las líneas de nuestros espectros, pero no pudimos separar claramente los efectos de las dos componentes para producir dos tipos espectrales.

LY Aur A = HD 35 921 A. Pudimos separar el espectro de la componente B, ubicado a una separación de 0.598" con un Δm de 1.87 en la banda z (Maíz Apellániz 2010). Este sistema es una binaria eclipsante con una amplitud de 0.722 mag (Lefèvre et al., 2009). Pudimos detectar el carácter SB2 de este objeto.

1 Ori = HD 37 043. La componente Ab está ubicada a una separación de 0.13" (Mason et al., 2009) pero es demasiado débil para tener un efecto significativo en el espectro observado. Este objeto puede haber sido expulsado del cúmulo del Trapecio (Hoogerwerf et al., 2000). Stickland et al. (1987) dan tipos espectrales de O9 III + B1 III para esta SB2. No pudimos

detectar líneas dobles en nuestros espectros. Sin embargo, el tipo espectral varía entre O9 y O8.5, por lo que ya no usamos esta estándar clásica de MK como tal. La nueva calibración de Hipparcos da una distancia revisada de 785^{+182}_{-124} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).

σ Ori AB = HD 37 468 AB. Este sistema se encuentra en el núcleo del cúmulo σ Ori bien estudiado (Caballero 2007, Sherry et al., 2008). La separación actual entre A y B es $0.26''$ y tiene un Δm de 1.6 (en la banda z). Su órbita ha sido seguida por Turner et al. (2008). Simón-Díaz et al. (2011a) usaron espectroscopía de alta resolución de múltiples épocas para descubrir que A es una binaria espectroscópica y, por lo tanto, que el sistema es una SB3. Derivan tipos espectrales de O9.5 V y B0.5 V para las dos componentes de A y una más incierta de B0/1 V para B. σ Ori AB permanece sin resolver en velocidad en datos de GOSSS. El espectro compuesto es O9.7 III con la clase de luminosidad estimada a partir de las líneas de He. Sin embargo, las líneas de Si IV son débiles, una señal de que la clase de luminosidad real de las componentes de este sistema es V. Ver cartas en Figura 33.

HD 37 366 A. Boyajian et al. (2007) determinan que este sistema es una SB2 con tipos espectrales O9.5 V + B0 V. No pudimos detectar líneas dobles en nuestros espectros. Colocamos C en la ranura y obtuvimos un tipo espectral A para esa componente.

HD 46 149. Mahy et al. (2009) estiman que esta SB2 tiene tipos espectrales O8 V + B0 V. No pudimos detectar líneas dobles en nuestros espectros.

15 Mon AaAb = S Mon AaAb = HD 47 839 AaAb. Las tres componentes más brillantes de este sistema son Aa, Ab y B. 15 Mon B está a una separación de $2.976''$ con respecto a Aa y su Δm es de 3.23 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010). Pudimos separar espacialmente el espectro de B en nuestros datos y confirmar que es del tipo B temprano. Aa y Ab están mucho más cerca, con una separación de $0.128''$ y un Δm de 1.43 en la banda z , y no pudimos separarlos. El período orbital entre Aa y Ab es del orden de un siglo (Cvetković et al. 2010; Maíz Apellániz 2010) por lo que no podemos ver líneas dobles en nuestros espectros. De hecho, la secundaria se resolvió de la primaria por Gies et al. (1993) usando espectroscopía de alta resolución gracias a sus diferentes velocidades de rotación. La distancia revisada de Hipparcos al sistema con la nueva calibración es de 309^{+60}_{-43} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a). Se ha encontrado que el tipo espectral de esta estándar fundamental del sistema MK es aparentemente variable entre O7 y O7.5 en una escala de tiempo indeterminada, que está bajo investigación. Por lo tanto, debe usarse con precaución y no como estándar. Ver cartas en Figura 33.

HD 48 099. Mahy et al. (2010) determinan que esta SB2 tiene tipos espectrales O5.5 V(f) + O9 V. Pudimos resolver en velocidad las dos componentes SB2 de este sistema con un período de 3.078098 días (Stickland 1996). Nuestros tipos espectrales son razonablemente similares a los obtenidos por Mahy et al. (2010) con espectroscopia de alta resolución.

HD 53 975. Gies et al. (1994) dan tipos espectrales de O7.5 V + B2-3 V para esta SB2. No pudimos detectar líneas dobles en nuestros espectros.

HD 54 662. Boyajian et al. (2007) intentaron una reconstrucción tomográfica de los espectros de este sistema y solo pudieron determinar una clasificación dentro de O6.5 V + O7-9.5 V. El análisis de OWN indica un período diferente para esta SB2 (2119 ± 5 días en vez de 557.8 días;

RC Gamen et al., en preparación). No hemos podido detectar líneas dobles en nuestros espectros por lo que la clasificación espectral de O7 Vz var? se refiere al espectro combinado.

29 CMa = HD 57 060 = UW CMa. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS de este sistema SB2 con un período de 4.39349 días (Pourbaix et al. 2004), excepto He II λ 4686. Sin embargo, vemos una clara variabilidad en las líneas de emisión entre nuestras cuatro épocas, incluido el perfil peculiar H β (en absorción, pero con uno o dos picos de emisión en los bordes de la línea). La nueva calibración de Hipparcos da una distancia revisada de 632^{+137}_{-96} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a). El análisis de la curva de luz de esta binaria eclipsante por Antokhina et al. (2011) sugiere una configuración de contacto.

HD 64 315 AB = V402 Pup AB. Tokovinin et al. (2010) resolvieron espacialmente este sistema en tres componentes usando interferometría speckle, aunque Mason et al. (2009) solo ven dos de ellas, separadas por 63 mas y con un Δm de 0.6 mag. Lorenzo et al. (2010) descubrieron que HD 64 315 es un sistema doble SB2 compuesto por cuatro estrellas O. Observamos este sistema en GOSSS en cuatro ocasiones diferentes y encontramos que los perfiles de la línea de absorción varían mucho. Para la época donde hay una mejor resolución de velocidad, vemos una O5.5 Vz y una componente O7 V. Los tipos espectrales son consistentes con el rango de temperaturas efectivas medidas por Lorenzo et al. (2010). El carácter z de la componente primaria podría ser causado por su naturaleza binaria oculta.

HD 75 759. Varias fuentes de la literatura consideran que este sistema tiene un espectro B temprano, pero es una SB2 (período: 33.311 días, Pourbaix et al. 2004) que contiene una estrella O. La naturaleza de tipo O ya fue establecida por Hiltner et al. (1969) y Walborn (1973b); este último también comentó sobre la posible existencia de una componente secundaria. Con MGB obtenemos tipos espectrales de O9 V y Bo V. La nueva calibración de Hipparcos da una distancia revisada de 947^{+378}_{-203} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).

HD 92 206 C = CPD -57 3580. Este objeto no aparece en el catálogo de WDS como HD 92 206 C (está ubicado a 34" de distancia de la componente A), aunque se le conoce más comúnmente con ese nombre en la literatura. Campillay et al. (2007) descubrió su naturaleza SB2 y le asignaron tipos espectrales de O7.5 V y Bo V. Lo hemos observado en tres ocasiones en GOSSS y en dos de ellas aparece claramente como SB2, con tipos espectrales de O8 Vz y O9 .7 V. Está ubicado en NGC 3324 al NW de la Nebulosa Carina. Ver cartas en Figura 33 (campo HD 92 206).

HD 92 206 A. HD 92 206 AB es una pareja cercana con una separación de 5.3" resuelta espacialmente en GOSSS con facilidad, con dos sistemas de tipo O. Los datos de OWN muestran que es una SB2. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. Ver cartas en Figura 33 (campo HD 92 206).

HD 93 161 A. HD 93 161 A y B están separados por 2" y ambos son sistemas de tipo O, siendo A una binaria espectroscópica O + O (Nazé et al., 2005). Cuando se observa dentro de la misma rendija, A+B forma un sistema SB3. Observamos A dos veces y en ambas ocasiones lo detectamos claramente como SB2. Nuestro mejor tipo espectral para la secundaria (O9 V) concuerda con el de Nazé et al. (2005) pero para la primaria (O7.5 V) es medio subtipo espectral más temprano. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 14).

QZ Car = HD 93 206. Este complejo sistema SB1 + SB1 fue estudiado por Mayer et al. (2001), midiendo los dos períodos en el sistema, 5.991 días (eclipsante) y 20.73596 días (no eclipsante). Ver también los trabajos previos de Leung et al. (1979) y Morrison y Conti (1980). Los tipos espectrales de Parkin et al. (2011) son consistentes con nuestra clasificación combinada (no vemos líneas dobles en los datos de GOSSS).

HD 93 205 = V560 Car. Conti y Walborn (1976b) clasificaron este sistema masivo SB2 en Carina como O3 V + O8 V. Lo observamos cinco veces en GOSSS y en dos está claramente en un estado de línea doble. Nuestro mejor tipo espectral para la secundaria (O8 V) concuerda con el de Morrell et al. (2001) pero el de la primaria (O3.5 V((f))) es medio subtipo espectral más tardío (algo que ya fue modificado por Walborn et al. 2002 cuando se creó el subtipo O3.5) y agrega el sufijo ((f)). La región 4650 Å es variable entre épocas: no está claro si lo que estamos viendo en algunas épocas como emisión corresponde a C III λ 4650 desde la primaria (lo que la convierte en una Ofc) o N III λ 4640-42 desde la secundaria. En las imágenes de ACS/HRC existentes detectamos una compañera visual previamente no identificada. Tiene una separación de 3.68", un ángulo de posición de 272° y un ΔV de 9.3 mag. Tanto HD 93 205 como HD 93 250 son sistemas con estrellas O de tipo temprano: se debe tener cuidado de no confundirlos. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

CPD -59 2591 = Trumpler 16-21. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como O8 V por Massey y Johnson (1993). No detectamos que era SB2 en GOSSS-DR1.0, pero un análisis posterior para analizar un espectro obtenido para el sondeo Gaia-ESO (Gilmore et al., 2012) nos llevó a encontrar que el débil espectro B secundario se desplazó hacia el rojo $\sim 250 \text{ km s}^{-1}$ en un espectro de GOSSS existente. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

CPD -59 2600. Los datos de OWN muestran que este sistema es SB1 y, posiblemente, SB2 con un período de 626 días. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

HD 93 249 A. Los datos de OWN muestran que este sistema es SB2 con un período de 2.9797 días. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. Esta es la estrella más brillante en Trumpler 15.

V572 Car = CPD -59 2603 = Trumpler 16-104. Rauw et al. (2001b) clasificaron este sistema como un sistema triple jerárquico que consta de una binaria eclipsante interior O7 V + O9.5 V y una componente externa B0.2 IV. En una de nuestras dos épocas de GOSSS hay dos componentes visibles, O7.5 V(n)z y B0 Vn, siendo este último una combinación de los dos tipos espectrales posteriores detectados por Rauw et al. (2001b) en sus espectros de alta resolución. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

V573 Car = CPD -59 2628. Este sistema SB2 tiene un período de 1.47 días y fue clasificado por Freyhammer et al. (2001) como O9.5 V + B0.2 V. Lo observamos dos veces en GOSSS y en ambas ocasiones detectamos líneas dobles. Nuestros tipos espectrales (O9.5 V y B0.5 V) son similares a los de Freyhammer et al. (2001), aunque en ambos casos calificados con sufijos (n). Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004). Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

HD 93 343. Rauw et al. (2009) clasificaron este sistema SB2 como O7-8.5 + O8. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS, pero nuestro tipo espectral combinado, O8 Vz, es consistente con los resultados de Rauw et al. (2009). Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

CPD -59 2635 = Trumpler 16-34. Albacete Colombo et al. (2001) clasificaron este sistema SB2 como O8 V + O9.5 V y Otero (2006) descubrió sus eclipses (con período de 2.29995 días). Obtenemos los mismos tipos espectrales con los datos de GOSSS con la única diferencia de un sufijo (n) para la primaria. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

CPD -59 2636 AB = Trumpler 16-110 AB. Este sistema SB3 fue clasificado como O7 V + O8 V + O9 V por Albacete Colombo et al. (2002). Según WDS, la componente B (llamada C en Albacete Colombo et al. 2002) es una componente visual alejada del sistema SB2 y es un sistema SB1 en sí mismo, lo que convierte a CPD -59 2636 en un sistema cuádruple con una componente no detectado. Vemos dos de esas componentes en una de las seis épocas de GOSSS y obtenemos tipos espectrales O8 V + O8 V. Uno de los conjuntos de líneas es más profundo que el otro, lo que probablemente indica que es un sistema compuesto con componentes O7 V y O9 V. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

V662 Car = FO 15. Niemelä et al. (2006) clasificaron este sistema SB2 como O5.5 Vz + O9.5 V. Es una binaria eclipsante con un período de 1.41355 días (Otero 2006; Fernández Lajús y Niemelä 2006). Detectamos líneas dobles en He I $\lambda 4471$ para tres de las cinco épocas de GOSSS, obteniendo una clasificación de O5 Vz + B0: V, que es razonablemente consistente con el resultado anterior y confirma la naturaleza z de la primaria. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004)

HD 96 264. Este objeto es una SB2 según datos de OWN. Aquí no vemos líneas dobles y lo clasificamos como O9.5 III.

HD 97 166. Según datos de OWN, este sistema es SB2 y posiblemente SB3. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. El sufijo ((f)) se agregó en GOSSS-DR1.1.

HD 97 434. Según datos de OWN, este sistema es SB2. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS.

TU Mus = HD 100 213. Linder et al. (2007) clasificaron este sistema SB2 como O7.5 V + O9.5 V. Obtuvimos dos épocas de GOSSS y las líneas dobles se vieron claramente en este sistema tan rápido (1.3873 días). Nuestros tipos espectrales son O8 V(n)z + B0 V(n), que no son muy diferentes de los de Linder et al. (2007). En particular, se espera un índice (n) o n en una binaria de contacto como TU Mus.

HD 101 131 = V1051 Cen. Gies et al. (2002) obtuvieron tipos espectrales O6.5 V((f)) + O8.5 V. De los espectros de GOSSS derivamos tipos ligeramente anteriores O5.5 V((f)) + O8: V. En GOSSS-DR1 .1 agregamos el sufijo ((f)) al primario. Ver cartas en Figura 33 (campo IC 2944).

HD 101 190. De acuerdo con Sana et al. (2011a), este sistema es SB2 con tipos espectrales O4 V((f)) + O7 V, pero advierten que el sistema podría incluir una tercera componente basado en la falta de movimiento de las líneas N III y N V. No detectamos líneas dobles en los datos

de GOSSS y asignamos a este sistema una clasificación O6 IV((f)), intermedia entre la de la primaria y la secundaria de Sana et al. (2011a). En WDS enumeran dos compañeras débiles dentro de los 15". El sufijo ((f)) se agregó en GOS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo IC 2944).

HD 101 205 AB = V871 Cen. Este sistema es SB2 según los datos de OWN. En WDS dan una compañera B con una separación de 0.4" y un Δm de 0.3 mag que no pudimos resolver espacialmente en los datos de GOSSS (tampoco vemos líneas dobles). O la A o la B es una binaria eclipsante con un período de 2.090704 días (Otero 2007), que es diferente del período SB2. La clase de luminosidad de II: (modificada en GOSSS-DR1.1) es un compromiso entre el comportamiento de N III $\lambda\lambda 4634-40-42$ y de He II $\lambda 4686$, posiblemente una consecuencia de la naturaleza compuesta del espectro. Ver cartas en Figura 33 (campo IC 2944).

HD 101 413. Sana et al. (2011a) obtuvieron tipos espectrales O8 V + B3: V para este sistema SB2. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS, lo que no es sorprendente dado el gran Δm esperado (nuestro tipo espectral combinado es el mismo que Sana et al. (2011a) obtienen para el primario). Ver cartas en Figura 33 (campo IC 2944).

HD 101 436. Sana et al. (2011a) obtuvieron tipos espectrales O6.5 V + O7 V para este sistema SB2. No vemos línea doble en los datos de GOSSS y obtenemos un tipo espectral combinado O6.5 V, consistente con el resultado de Sana et al. (2011a). En GOSSS-DR1.1 eliminamos el sufijo z de la primaria. Ver cartas en Figura 33 (campo IC 2944).

HD 114 886 AaAb. De acuerdo con WDS (complementado con información adicional), este sistema se compone de tres componentes cercanas, Aa, Ab y B con magnitudes B de 7.5, 8.6 y 9.2, respectivamente. Aa y Ab tienen una separación de 0.2" y no se pueden resolver espacialmente con los datos de GOSSS, mientras que B está a 1.7" de los otros dos y, de hecho, se resuelve espacialmente en nuestros espectros. Obtenemos tipos espectrales de O9 III + O9.5 III para AaAb, consistentes con la clasificación O9 II-III de Walborn (1973b). A partir de datos de OWN, se deriva un período de 13.559 días. La componente B es una estrella B temprana.

HD 115 071 = V961 Cen. Penny et al. (2002) clasificaron este sistema SB2 como O9.5 V + B0.2 III. En GOSSS obtenemos O9.5 III + B0 Ib, que son similares en subtipos espectrales, pero corresponden a clases de luminosidad mayor.

HD 115 455. Este sistema SB2 tiene un período de 15.08 días según los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. El sufijo (f) faltaba en GOSSS-DR1.0.

HD 117 856. Este sistema SB2 tiene un período de 27.6 días según los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. La clasificación se cambió de O9.7 II a O9.7 II-III en GOSSS-DR1.1.

HD 123 056. Este sistema es al menos una SB2 en los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS.

HD 123 590. Este sistema SB2 tiene un período de 58.9 días según los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. El sufijo z se agregó en GOSSS-DR1.1.

HD 124 314 A. HD 124 314 A y BaBb están separadas por 2.5" y ambas tienen tipos espectrales O. A es un probable sistema SB2 de acuerdo con los resultados preliminares de OWN, pero no se ve con líneas dobles en el espectro de GOSSS existente. La clase de luminosidad se cambió de III a IV en GOSSS-DR1.1. El sistema es una binaria con colisión de viento (De Becker y Raucq 2013). Ver cartas en Figura 33 (campo HD 124 314).

HD 124 979. Este objeto es un sistema SB2 según datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. El (n) sufijo se agregó en GOSSS-DR1.1.

HD 125 206. Este objeto es un sistema SB2 según datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS.

δ Cir = HD 135 240. Penny et al. (2001) clasificaron este sistema SB3 como O7 III-V + O9.5 V + B0.5 V. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS y obtenemos una clasificación combinada O8 V, que es consistente con el resultado de Penny et al. (2001).

HD 149 404 = V918 Sco. Rauw et al. (2001a) clasificaron este sistema SB2 como O7.5 I(f) + ON9.7 I (ver también Thaller et al., (2001)). No vemos líneas dobles en nuestras tres épocas de GOSSS, aunque tanto He II λ 4686 como H β tienen perfiles variables y anómalos debido a la binariedad del sistema. El tipo espectral combinado es O8.5 Iab(f), consistente con la clasificación de Rauw et al. (2001a). Obsérvese que las dos líneas de emisión no identificadas a 4486 Å y 4504 Å analizadas por esos autores (véase también Walborn 2001) poco después se descubrió que se originaban en S IV por Werner y Rauch (2001). La nueva calibración de Hipparcos da una distancia revisada de 458^{+96}_{-67} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).

HD 150 135. Este sistema SB2 tiene un período de 181 días según los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. Ver cartas en Figura 33 (campo HD 150 136).

HD 150 136. Niemelä y Gamen (2005) clasificaron este objeto como O3, convirtiéndolo en el sistema O2/3.5 más cercano, y descubrieron que era SB3. Mahy et al. (2012) lo clasificó como O3-3.5 V((f)) + O5.5-6 V((f)) + O6.5-7 V((f)). En los datos de GOSSS lo vemos solo como SB2, con tipos espectrales O3.5-4 III(f*) y O6 IV, que es más o menos consistente con los tres tipos espectrales individuales de Mahy et al. (2012) fusionados en dos. Recientemente, Sana et al. (2013) y Sánchez-Bermúdez et al. (2013) resolvieron espacialmente una de las tres componentes con VLTI con una separación de 7-9 mas y una órbita de 8 a alrededor del par interno de estrellas O (que se espera que estén separados por solo ~ 0.1 mas de acuerdo con los 2.67454 días del período de su órbita espectroscópica). Además de esas tres estrellas (todas ellas parte de la componente A), en WDS dan una componente B más débil con una separación de 1.6". Ver cartas en Figura 33 (campo HD 150 136). La multiplicidad visual para este objeto se verificó en imágenes ACS/HRC (la compañera detectada por VLTI obviamente no se ve aquí). Es un sistema binario con vientos en colisión (De Becker y Raucq 2013).

HD 151 003. Este sistema SB2 tiene un período de 199 días según los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. La clasificación espectral se cambió de O9 III a O8.5 III en GOSSS-DR1.1 debido a la revisión de los criterios alrededor del tipo espectral O9.

HD 150 958 AB. Este objeto es un sistema SB2 según los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. En WDS dan una componente B con una separación de 0.3" y un Δm de 1.7 mag que no podemos resolver espacialmente.

HD 151 804 = V973 Sco. Este objeto es un sistema SB2 según los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. Es un sistema binario con vientos en colisión (De Becker y Raucq 2013).

HD 152 219 = V1292 Sco. Sana et al. (2008) clasificó este sistema como O9 III + B1-2 V/III. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS y obtenemos un espectro combinado de O9.5 III(n), que es consistente con el anterior. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

HD 152 218 = V1294 Sco. Sana et al. (2008) clasificaron este sistema como O9 IV + O9.7 V. También resolvemos en velocidad las dos componentes en los datos de GOSSS y obtenemos la clasificación muy similar de O9 IV + B0: V:. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

HD 152 233. Sana et al. (2008) clasificó este sistema como O5.5 + O7.5. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS y obtenemos un espectro combinado de O6 II(f), cuyo subtipo espectral es compatible con la medición anterior. La clase de luminosidad en GOSSS se ajustó de Ib a II en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

HD 152 246. Este objeto es un sistema SB2 según datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. La clase de luminosidad se cambió de V a IV en GOSSS-DR1.1.

HD 152 248 AaAb = V1007 Sco AaAb. Sana et al. (2008) clasificaron este sistema como O7 III(f) + O7.5 III(f). También resolvemos en velocidad las dos componentes en los datos de GOSSS y obtenemos una clasificación O7 Iabf + O7 Ib(f), es decir, subtipos espectrales similares, pero clases de luminosidad algo más brillantes (nótese que Sana et al. 2008 demostraron convincentemente que ambas componentes tienen He II $\lambda 4686$ en absorción y todas las emisiones en esa línea surgen en la región de vientos en colisión, por lo que sus clases de luminosidad son probablemente correctas). En GOSSS-DR1.0, la clase de luminosidad de la primaria era Ib y su sufijo (f). De acuerdo con Mason et al. (2009) hay una compañera visual Ab a una distancia de 0.05" con un Δm de 2.0 mag, que no pudimos resolver espacialmente en nuestros datos. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

CPD -41 7733. Sana et al. (2008) clasificaron este sistema como O8.5 V + B3. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS y obtenemos una clasificación combinada de O9 IV, que es consistente con el resultado anterior. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

V1034 Sco = CPD -41 7742. Sana et al. (2008) clasificaron este sistema como O9.5 V + B1.5 V. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS y obtenemos una clasificación combinada de O9.5 IV, que no está lejos de lo que cabría esperar del resultado anterior. En GOSSS-DR1.0 la clase de luminosidad para este sistema fue III. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

HDE 326 331. Este objeto es un sistema SB2 según datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. El sufijo ((f)) se agregó en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

HD 152 314. Este sistema fue encontrado por Sana et al. (2008) como SB2 con tipos espectrales O8.5 III y B1-3 V. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS, pero nuestro tipo espectral combinado O9 IV (en GOSSS-DR1.0 era O9.5 IV) está de acuerdo con ese resultado. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

HD 152 590 = V1297 Sco. Este sistema eclipsante tiene un período de 4.487 días (Otero y Claus 2004) y es SB2 según los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS.

HD 153 426. Este objeto es un sistema SB2 con un período de 22.4 días según los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. La clasificación se cambió de O9 II-III a O8.5 III en GOSSS-DR1.1.

HD 155 889 AB. Este objeto es un sistema SB2 (y posiblemente SB3) según los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. En WDS dan una compañera con una separación de 0.2" y un Δm de 0.6 mag que no se puede resolver espacialmente en nuestros espectros de rendija larga.

HD 155 913. Este objeto es un sistema SB2 según datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. E. J. Aldoretta et al. (2015) han encontrado una nueva compañera débil a una pequeña distancia de la primaria.

HD 156 292. Este objeto es un sistema SB2 con un período de 4.94 días según datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS.

ALS 18 748 = HM 1-8 = C1715-387-8. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) debido a que es muy débil (Havlen y Moffat 1977). La colaboración OWN ha descubierto recientemente que es SB2 con un período de 5.8783 días. No vemos líneas dobles en nuestros datos. Este objeto tiene C III $\lambda 4650$ en emisión, pero la relación de intensidad de C III $\lambda 4650$ /N III $\lambda 4634$ de 0.9 coloca este espectro justo por debajo del límite fc. Es interesante que esté asociado con la estrella Ofc ALS 18 747 en el cúmulo Havlen-Moffat 1 mostrado en la Figura 33, que puede ser significativo en el contexto de Walborn et al. (2010b) encontrando que este fenómeno ocurre en algunos cúmulos, pero no en otros.

HDE 319 703 A. Se puede ver una carta del sistema complejo HDE 319 703 (en NGC 6334) en la Figura 33 (campo HDE 319 703, ver también la Figura 1 en Walborn 1982c). La componente A está espacialmente resuelta de las demás (ver las dos estrellas O adicionales en la sección 4.3.3) y no vemos líneas dobles en su espectro. Este objeto es un sistema SB2 con un período de 16.4 días según los datos de OWN. El sufijo ((f))z se agregó en GOSSS-DR1.1, donde la estrella también se movió de O7.5 a O7.

HDE 319 702. Se encontró que este objeto de NGC 6334 era una binaria eclipsante con un período de 2.0 días por Barr Domínguez et al. (2013). Los datos de OWN revelan que en realidad es un sistema SB3. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS.

Pismis 24-1 AB = HDE 319 718 AaAb. Maíz Apellániz et al. (2007) pudieron resolver espacialmente este par cercano (separación de 0.364" y Δm de 0.1 mag) con IMACS en el telescopio Baade de LCO para obtener tipos espectrales espacialmente resueltos O3.5 If* y O4 III(f) para A y B respectivamente. Con los datos de GOSSS no pudimos resolver

especialmente el par, por lo que solo podemos producir un tipo espectral combinado O3.5 If*, Sin embargo, el espectro combinado muestra un perfil P-Cygni en He II $\lambda 4686$. Maíz Apellániz et al. (2007) también citó una comunicación privada de Phil Massey acerca de la variabilidad fotométrica del sistema que indicaba la naturaleza binaria eclipsada de una de sus componentes, haciendo de Pismis 24-1 un sistema con tres estrellas O muy grandes. La naturaleza binaria eclipsada y el período de 2.36 días ha sido confirmado recientemente por Barr Domínguez et al. (2013). Los datos de OWN también revelan el período en los datos de velocidad radial. Ver la Figura 33 para una carta (campo Pismis 24). La multiplicidad visual para este objeto se midió en imágenes ACS/HRC.

HD 158 186 = V1081 Sco. Este objeto es un sistema SB3 de acuerdo con los datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. El sufijo (n) se agregó en GOSSS-DR1.1. E. J. Aldoretta et al. (2015) y H. Sana et al. (2014) han detectado recientemente una compañera con un Δm de 2.1-2.3 mag y una separación de 30 mas (con resultados algo discrepantes entre los dos).

HD 159 176 = V1036 Sco. Linder et al. (2007) clasificaron este sistema como O7 V((f)) + O7 V((f)), ver también Conti et al. (1975). Obtenemos exactamente la misma clasificación en GOSSS (después de agregar los sufijos ((f)) que faltan en GOSSS-DR1.0). Según WDS, el sistema HD 159 176 es bastante complejo. Las componentes B y C son bastante débiles y están bien separadas de A. La A está compuesta de Aa, Ab y Ac, todas a menos de 1 " entre sí y espacialmente no resueltas en los datos de GOSSS. Ac es considerablemente más débil que Aa, pero Ab no tiene una magnitud incluida en WDS. Hemos publicado datos de Lucky Imaging obtenidos con AstraLux Sur en el NTT donde Ab no aparece. Eso indica que o no existe o es demasiado débil. En cualquier caso, no necesitamos agregar ninguna componente al nombre de la estrella.

HD 161 853. Este objeto es un sistema SB2 (y posiblemente SB3) según datos de OWN. En una de las observaciones de GOSSS vemos una componente secundaria débil en las líneas He I que indican una secundaria de tipo B. Este objeto tiene un historial de confusión al ser identificada como una estrella post AGB. Sin embargo, Szczerba et al. (2007) la descalifican de esa categoría y Urquhart et al. (2009) la identifican como la principal fuente ionizante de RCW 134.

HD 163 758. Este objeto es un sistema SB2 según datos de OWN. No vemos líneas dobles en los datos de GOSSS. Observamos ambas líneas C y N de absorción. Eso provocó la introducción del sufijo p en GOSSS-DR1.1. Leep (1978) ya había sugerido que esta era una estrella rica en carbono.

Herschel 36 = HD 164 740. Arias et al. (2010) descubrieron que Herschel 36 es un sistema SB3 con tipos espectrales O7.5 V + O9 V + B0.5 V. Vemos indicios de la secundaria en dos de las cinco épocas de GOSS, pero no líneas dobles propiamente dichas. El tipo espectral combinado es O7: V + sec. Se pueden detectar varias compañeras en IR en esta región con una fuerte extinción (Arias et al., 2006), incluyendo una con una separación de solo 0.25" (Goto et al., 2006). La multiplicidad visual para este objeto se midió en imágenes WFPC2.

9 Sgr = HD 164 794. Rauw et al. (2012) clasificó este sistema como O3.5 V((f*)) + O5-5.5 V((f)). No vemos líneas dobles en nuestro espectro, lo que no es sorprendente dado el

largo período (8.6 a) de la órbita. Nuestro subtipo espectral combinado (O4) y la clase de luminosidad (V) son consistentes con los resultados esperados en Rauw et al. (2012). Los sufijos son diferentes por dos razones: no hay * en O3.5/O4 V y hay un sufijo z debido a la profundidad de la absorción de He II $\lambda 4686$ con respecto a la absorción de He II $\lambda 4542$ (este podría ser un caso donde aparece el fenómeno z debido a la existencia de una binaria). El objeto tiene C III $\lambda 4650$ en emisión, pero no es lo suficientemente fuerte como para poner un sufijo c. El sistema es una binaria con colisión de vientos (De Becker y Rauq 2013). Tanto 9 Sgr como 9 Sge son estrellas O: se debe tener cuidado de no confundirlas.

HD 164 816. Este objeto es un sistema SB2 según datos de OWN. Las líneas dobles se ven claramente en dos de nuestras cinco épocas de GOSSS. Derivamos tipos espectrales O9.5 V + B0 V para las dos componentes.

HD 165 052. Ferrero et al. (2013) utilizaron espectroscopía de alta resolución de múltiples épocas para determinar la velocidad de movimiento apsidal de este sistema SB2, calcular las masas de las dos componentes y asignarles tipos espectrales O7 Vz y O7.5 Vz, respectivamente (véase también Arias et al. 2002). Obtuvimos espectros de GOSSS en seis épocas diferentes y en uno de ellos apenas resolvimos en velocidad las dos componentes SB2 cuando tenían una separación de $\sim 200 \text{ km s}^{-1}$. Eso está cerca de nuestro límite de resolución de velocidad, por lo que los tipos espectrales de GOSSS son bastante inciertos.

HD 165 246. Otero (2007) descubrió que este es un sistema binario eclipsante y Mayer et al. (2013) dan tipos espectrales derivados O8 V + B7 V. La clasificación de GOSSS es O8 V(n). Aparte de la diferencia en el índice de rotación, el tipo espectral de GOSSS es lo que uno esperaría, ya que la detección de una compañera con un Δm tan grande como la que existe entre las enanas O8 y B7 no es posible con nuestros datos.

HD 165 921 = V3903 Sgr. Niemelä y Morrison (1988) obtuvieron tipos espectrales O7 V + O9 V para este sistema SB2. Detectamos líneas dobles en una de nuestras dos épocas de GOSSS y derivamos tipos espectrales O7 V(n)z + B0: V:, que concuerdan (dada la incertidumbre en la secundaria) razonablemente bien con la clasificación previa. El sufijo z de la primaria se agregó en GOSSS-DR1.1.

HD 166 734. Este sistema es una SB2 con una clasificación espectral de O7 Ib(f) + O8-9 I dada por Walborn (1973b). La órbita es analizada por Conti et al. (1980) y los eclipses son descritos por Otero y Wils (2005). No vemos líneas dobles en nuestros espectros, aunque en una época, los perfiles de las líneas son claramente asimétricos.

HD 167 771. Pudimos detectar el carácter SB2 de este objeto (Morrison y Conti 1978, Stickland et al., 1997). El sufijo (f) de la componente principal de este sistema SB2 con un período de 3.97333 días (Pourbaix et al. 2004) fue cambiado a (f) en GOSSS-DR1.1, de acuerdo con las reglas de Tabla 13.

HD 168 075. Esta binaria tiene un período de 43.6 días y ha sido clasificada como O6.5 V((f)) + B0-1 V (Gamen et al., 2008; Barbá et al., 2010; Sana, et al., 2009). No detectamos líneas dobles en nuestros espectros. Ver cartas en Figura 33.

HD 191 201 A. Este objeto tiene otra componente (B) con una separación de $0.97''$ y $\Delta m = 1.8$ (Mason et al., 2009). Pudimos separar espacialmente los espectros A y B. Este último es del tipo B temprano, mientras que el primero muestra líneas dobles con tipos espectrales O9.5 III y Bo IV.

HDE 228 766. Pudimos detectar el carácter SB2 de este objeto (Walborn 1973c, Massey y Conti 1977, Rauw et al. 2002).

HD 193 322 AaAb. HD 193 322 es un sistema altamente complejo que incluye al menos seis estrellas de tipos espectrales O y B. Aa y Ab están separadas por $0.055''$ con un Δm pequeño (Maíz Apellániz 2010; Mason et al., 2009). Ten Brummelaar et al. (2011) han utilizado espectroscopía de alta resolución de múltiples épocas para analizar el sistema AaAb, determinando un tipo espectral O9 Vnn para Aa y que Ab es un sistema SB2 con tipos espectrales de O8.5 III y B2.5: V. HD 193 322 AaAb permanece sin resolver en velocidad en los datos de GOSSS. La componente B está a una separación de $2.719''$ y pudimos separar su espectro del de AaAb: es una estrella B temprana. Este complejo sistema fue estudiado por McKibben et al. (1998), quien descubrió que Aa es una SB1 con Ab en un período de 31 años en órbita alrededor Aa. Ver Roberts et al. (2010) para un estudio reciente de este sistema y el grupo circundante, Collinder 419. La nueva calibración de Hipparcos da una distancia revisada de 708^{+255}_{-145} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).

HD 193 443 AB. Mahy et al. (2013) estudiaron este sistema SB2 con espectroscopia de alta resolución y determinaron un período de 7.467 días, con tipos espectrales de O9 III/I y O9.5 V/III, respectivamente. Sin embargo, En WDS indican que este sistema es una binaria visual con una separación de $0.1''$ - $0.2''$ y un Δm de 0.3, es decir, que debe haber al menos una tercera estrella en la apertura de Mahy et al. (2013) con un período mucho más largo (de ahí, la designación AB). Tenemos datos inéditos de Lucky Imaging de HD 193 443 que confirman la separación aproximada y Δm del WDS. HD 193 443 AB permanece sin resolver en velocidad en los datos de GOSSS.

HD 195 592. De Becker et al. (2010) indican que es una SB2 con tipos espectrales O9.7 I + B y un período de 5.063 días y que el sistema podría albergar una tercera componente con un período de ~ 20 días. No vemos líneas dobles en nuestros espectros.

Cyg OB2-5 A = V279 Cyg A = BD +40 4220 A. Este objeto tiene una componente B con una separación de $0.934''$ y con un Δm de 3.02 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010), que pudimos separar espacialmente en nuestros datos (la componente B parece ser una estrella O intermedia, pero no se incluye aquí debido a la baja S/R de su espectro). Cyg OB2-5 A es una peculiar y probable binaria en contacto con eclipses bien marcados entre las dos supergigantes O (Linder et al., 2009). Kennedy et al. (2010) sugieren la existencia de una cuarta componente además de B (que es una gigante O) y las dos supergigantes O no resueltas en A. Nuestros datos muestran variabilidad entre épocas, pero los espectros son demasiado peculiares para proporcionar dos tipos espectrales precisos para las componentes de A. Este espectro fue clasificado como O7 Iafpe por Walborn (1973b), lo que ha llevado a confusión con la categoría Onfp, aunque no pertenece a esa categoría. Además, nuestros datos muestran que ambas componentes tienen líneas estrechas, y que son esencialmente iguales.

Cyg OB2-9 = LS III +41 36 = Schulte 9 = [MT91] 431. Este objeto es una binaria espectroscópica de línea única y también una fuente de radio no térmica con un período de 2.35 años deducidos a partir de datos de radio (Van Loo et al., 2008). El período fue confirmado con datos ópticos por Nazé et al. (2008a) y la primera solución orbital fue propuesta por Nazé et al. (2010). Nazé et al. (2012b) estudiaron este sistema SB2 con espectroscopia de alta resolución y obtuvieron unos tipos espectrales de O5-5.5 I para la primaria y O3-4 III para la secundaria. El objeto tiene C III λ 4650 en emisión, pero no es lo suficientemente fuerte como para ponerle un sufijo c. Cyg OB2-9 permanece sin resolver en velocidad en datos de GOSSS. Ver cartas en Figura 33.

Y Cyg = HD 198 846. Pudimos detectar el carácter SB2 de este objeto (Burkholder et al., 1997).

HD 199 579. Williams et al. (2001) detectan este objeto como SB2 con tipos espectrales O6 V((f)) + B1-2 V. No vemos líneas dobles en nuestros espectros.

HD 206 267 AaAb. Este sistema tiene dos componentes, Aa y Ab, sin resolver en nuestros datos, con una separación de 0.118" y un Δm de 1.1 (Mason et al., 2009). Pudimos detectar su carácter SB2. Ver cartas en Figura 33.

LZ Cep = HD 209 481. Este objeto es una SB2 con un período de 3.07 días (Howarth et al., 1991) que experimenta eclipses con una amplitud de 0.099 mag (Lefèvre et al., 2009). La nueva calibración de Hipparcos da una distancia revisada de 1027^{+244}_{-165} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).

DH Cep = HD 215 835. Pudimos separar este sistema SB2 con un período de 2.1109 días (Pourbaix et al., 2004). Nuestros tipos espectrales coinciden con los de Burkholder et al. (1997) pero nuestras clases de luminosidad son V en lugar de III.

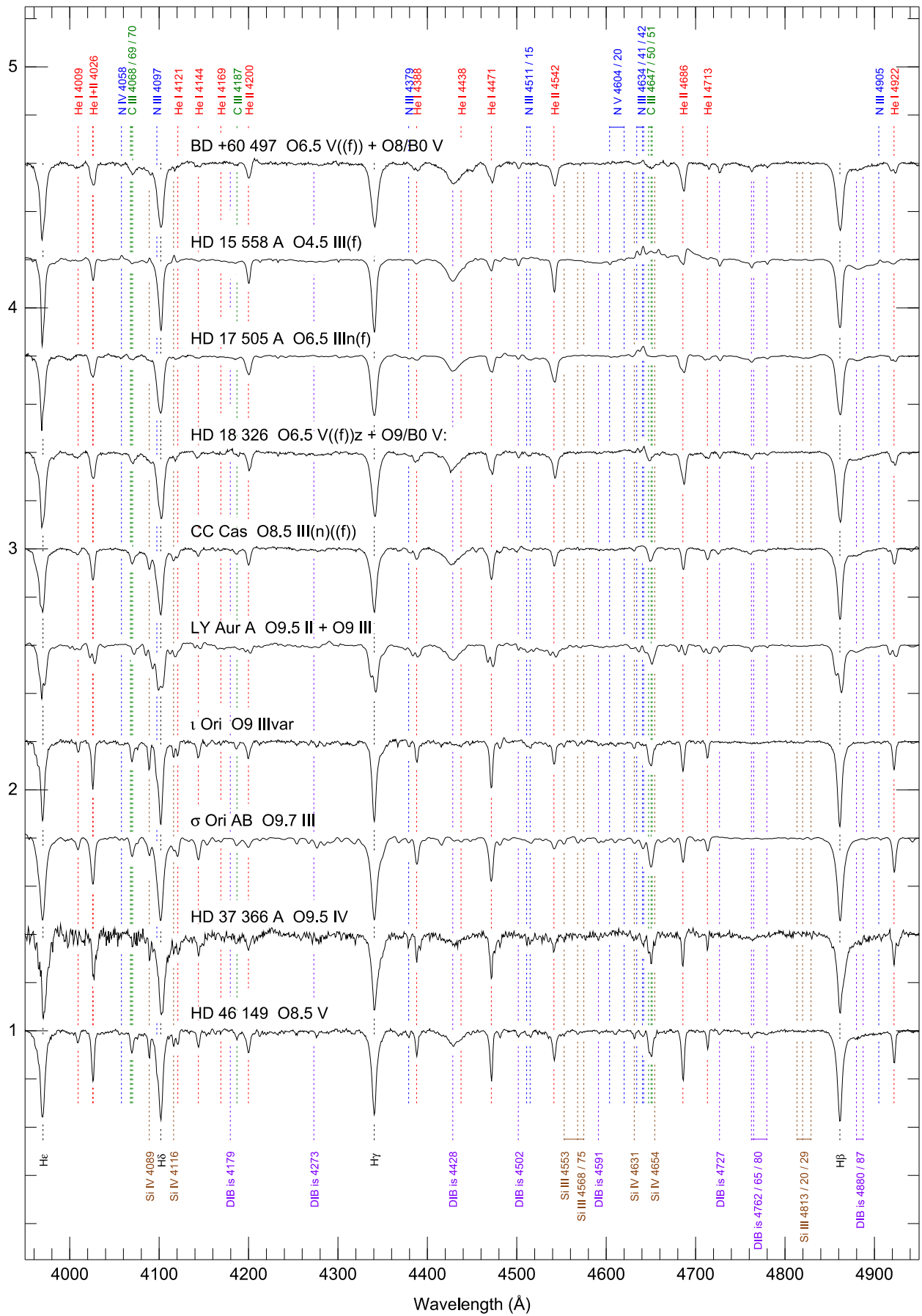


Figura 31. Espectros de estrellas SB2 y SB3.

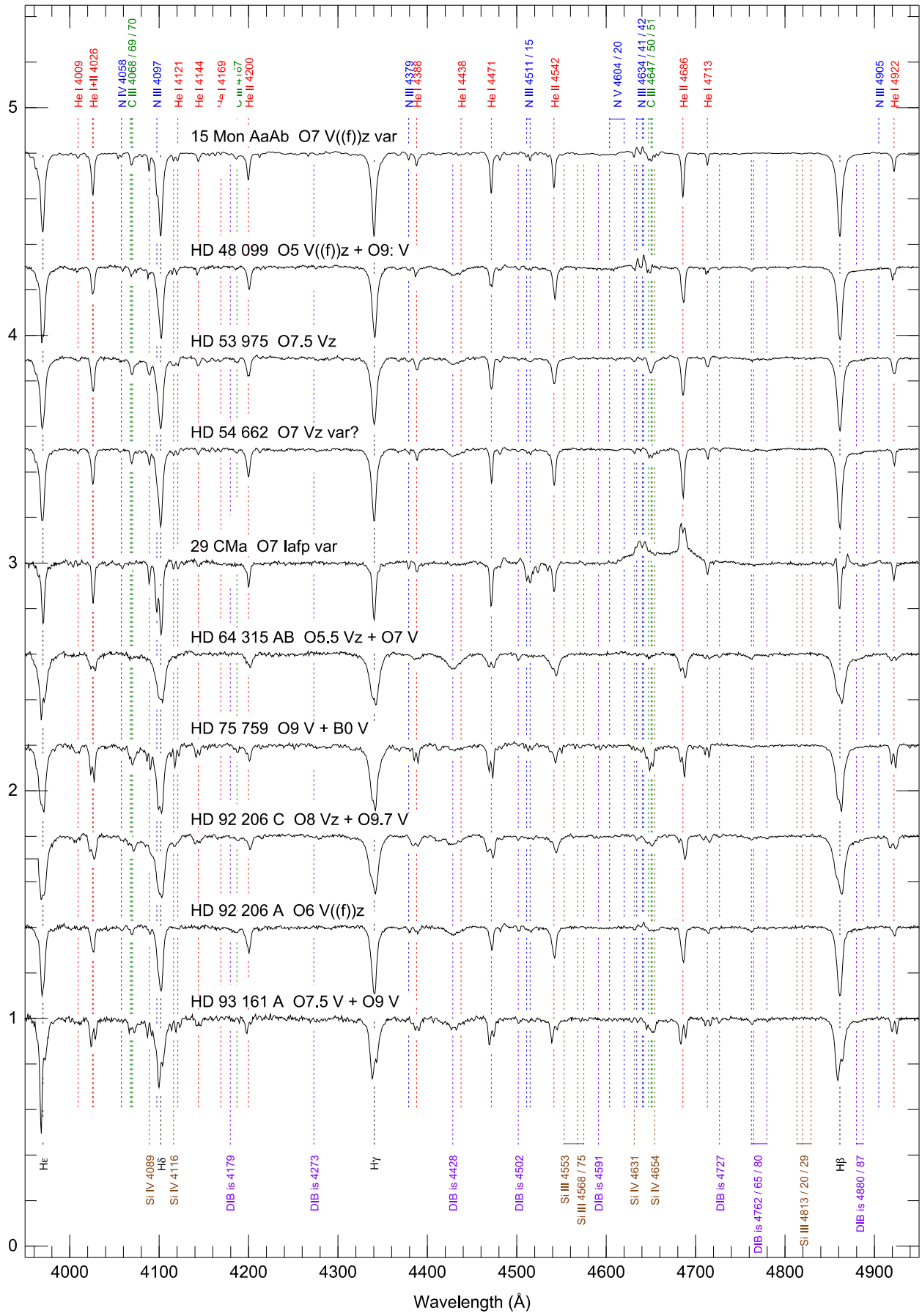


Figura 31. (Continúa).

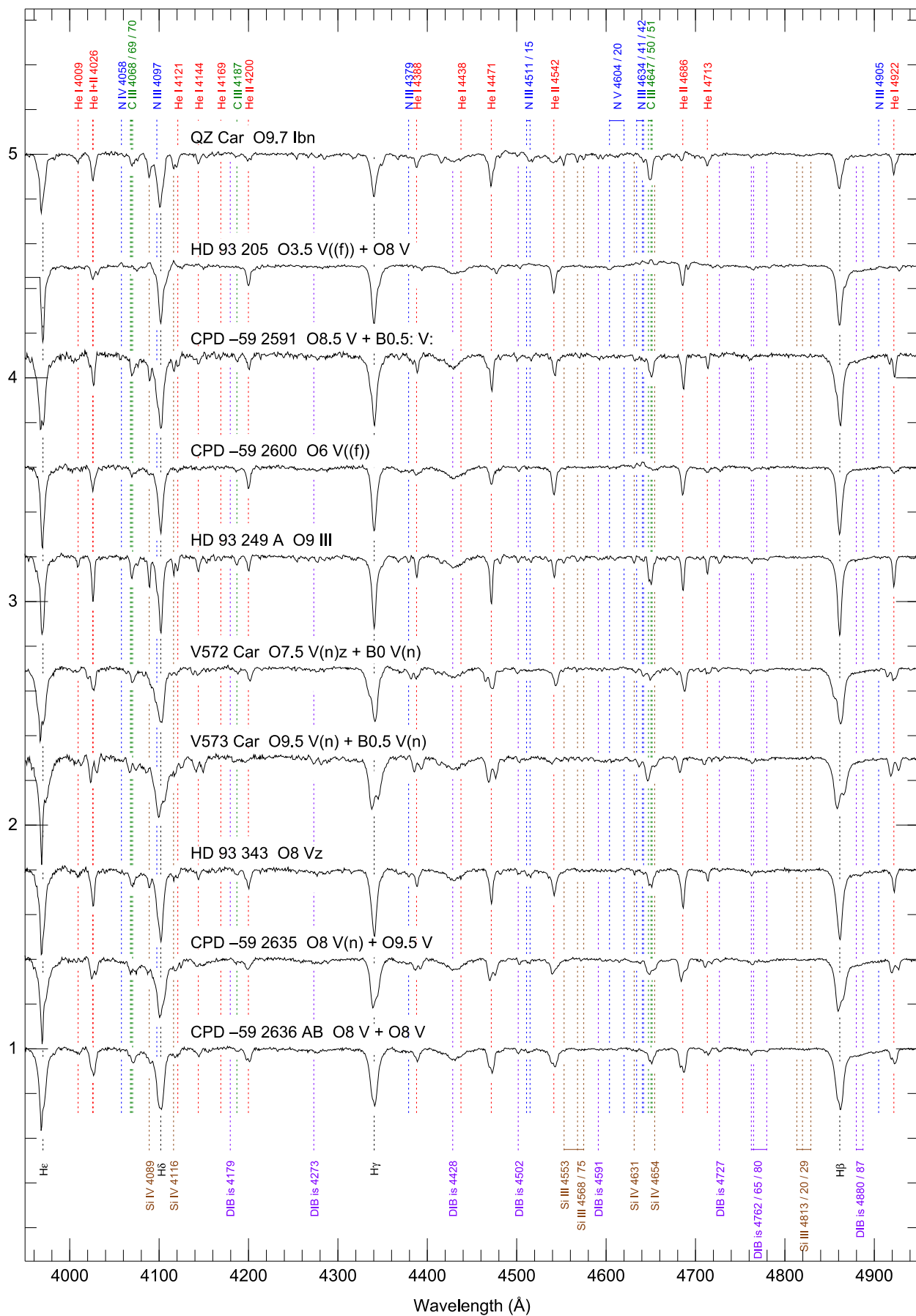


Figura 31. (Continúa).



Figura 31. (Continúa).

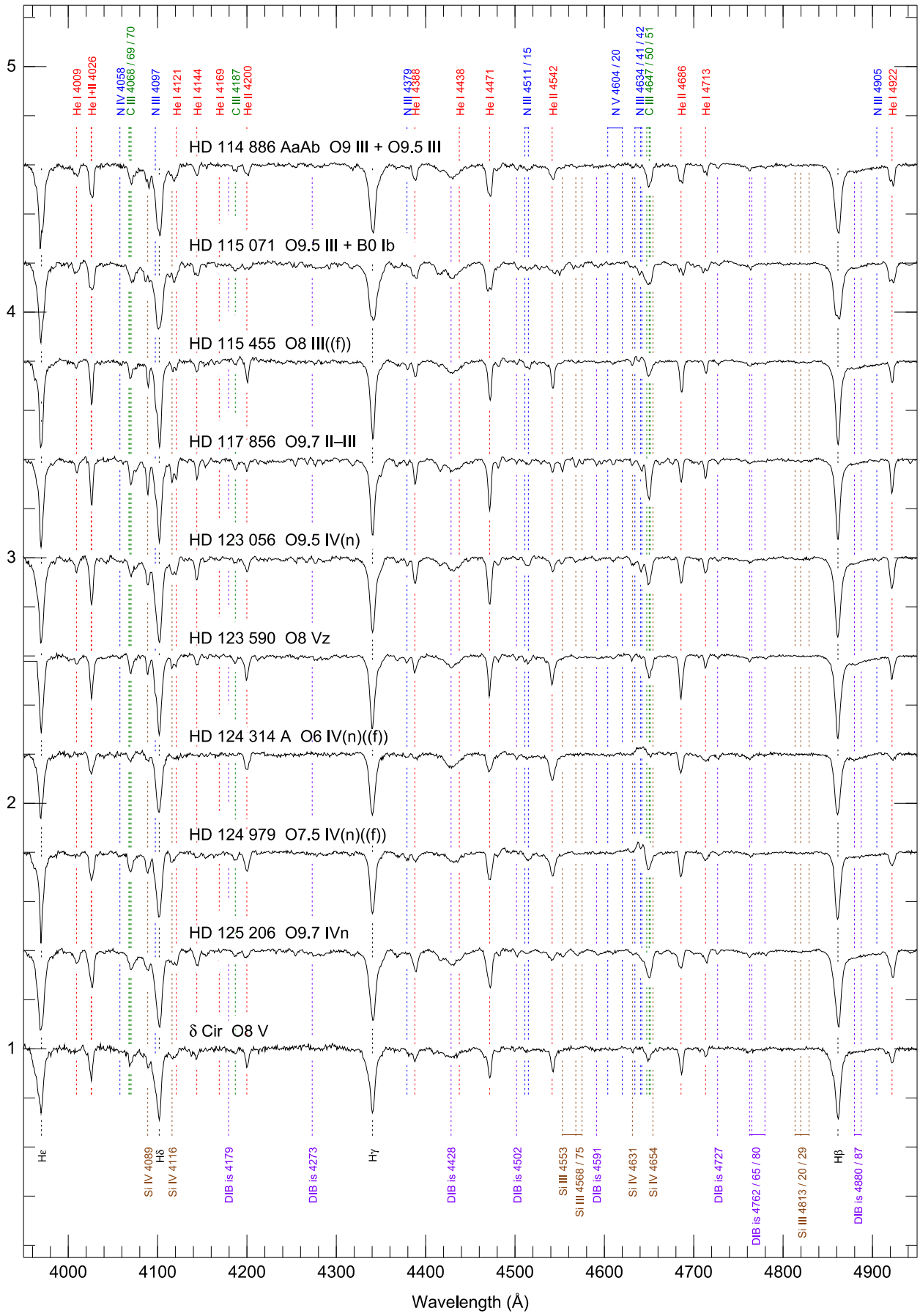


Figura 31. (Continúa).



Figura 31. (Continúa).

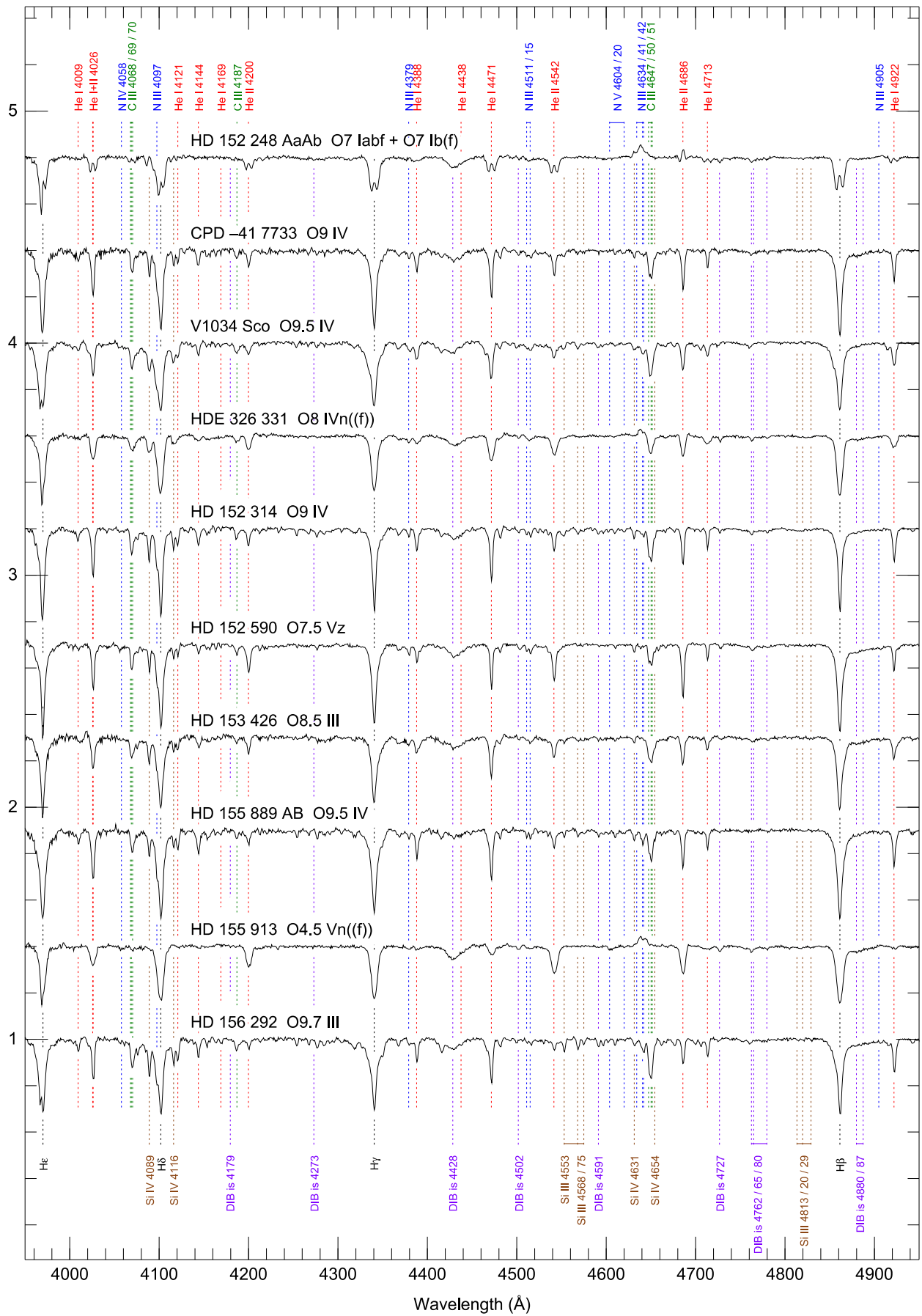


Figura 31. (Continúa).



Figura 31. (Continúa).



Figura 31. (Continúa).



Figura 31. (Continúa).

4.3.3 Muestra normal

En esta subsección, describimos brevemente las estrellas O de nuestra muestra que no pertenecen a ninguna de las categorías de las subsecciones anteriores. Los espectros para estrellas normales se muestran en la Figura 32.

HD 5005 B. Obtuvimos espectros individuales para las cuatro componentes brillantes en este sistema (A, B, C y D) y encontramos que todas ellas eran estrellas O. Este objeto no estaba presente en la versión 1 de GOSC. La clase de luminosidad obtenida a partir de He II $\lambda 4686$ /He I $\lambda 4713$ entra en conflicto con la de la línea muy débil Si IV y de una probable extrema juventud. Ver cartas en Figura 33.

HD 5005 C. Obtuvimos espectros individuales para las cuatro componentes brillantes en este sistema (A, B, C y D) y encontramos que todas ellas eran estrellas O. Ver cartas en Figura 33.

HD 15 137. McSwain et al. (2010) midieron la órbita SB1 de este objeto y sugieren que la compañera invisible puede ser una estrella de neutrones o un agujero negro.

BD +60 498. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. La clase de luminosidad obtenida a partir de He II $\lambda 4686$ /He I $\lambda 4713$ entra en conflicto con la de la línea muy débil Si IV y de una probable extrema juventud. Ver cartas en Figura 33.

BD +60 499. Ver cartas en Figura 33.

BD +60 501. Ver cartas en Figura 33.

HD 15 570. Ver cartas en Figura 33.

HD 17 505 B. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Pudimos separar el espectro A, ubicada a una separación de 2.153" con un Δm de 1.75 en la banda z (Maíz Apellániz 2010). Ver cartas en Figura 33.

HD 17 520 A. La componente A está separada por solo 0.316" de la componente B con un Δm de 0.67 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010) pero pudimos separar los dos espectros. Hillwig et al. (2006) indican que en el espectro A+B integrado, la componente A parece ser una SB1. En nuestros espectros, detectamos cambios de velocidad distintos entre las líneas de emisión (que se originan en B) y el perfil de absorción en diferentes épocas, que admite el carácter SB1 para A. El sufijo z se agregó en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33.

BD +60 586 A. Ver cartas en Figura 33.

HD 24 431. Hay una componente B presente a una separación de 0.720" pero su Δm de 2.9 en la banda z (Maíz Apellániz 2010) indica que es demasiado débil para tener un efecto significativo en el espectro óptico.

ξ Per = Menkhib = HD 24 912. La distancia revisada de Hipparcos a este objeto con la nueva calibración es de 416^{+116}_{-74} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).

AE Aur = HD 34 078. Esta estrella parece haber sido expulsado del cúmulo del Trapecio (Hoogerwerf et al., 2000 y referencias en él).

HDE 242 926. Ver cartas en Figura 33.

BD +33 1025. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Alineamos la rendija para también medir la componente B del sistema, ubicada a una distancia de 13.8", y descubrimos que era una estrella B temprana. Ver cartas en Figura 33.

HDE 242 935 A. La componente A está separada por 1.081" de la componente B con un Δm de 0.80 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010). Pudimos separar los dos espectros y obtener un tipo B temprano para la componente B. Ver cartas en Figura 33.

HD 35 619. Hay una componente B presente a una separación de 2.772" pero su Δm de 2.88 en la banda z (Maíz Apellániz 2010) indica que es demasiado débil para tener un efecto significativo en el espectro óptico. El sufijo z se agregó en GOSSS-DR1.1.

ν Ori = HD 36 512. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Anteriormente, era una estándar Bo V, pero ahora es la estándar O9.7 V.

BD +39 1328. El espectro de esta estrella es bastante anómalo: La línea He II $\lambda 4686$ neutralizada indica una alta luminosidad (como es clasificada), pero las absorciones de Si IV y C III son muy débiles, lo que tal vez indica un origen diferente del comportamiento de He II $\lambda 4686$.

λ Ori A = HD 36 861. La componente A está separada por 4.342" de la componente B con un Δm de 1.91 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010). Pudimos separar los dos espectros y obtener un tipo B temprano para la componente B, que tiene un número de HD separado (36 862). La distancia revisada de Hipparcos a λ Ori A con la nueva calibración de Hipparcos es de 361^{+89}_{-60} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).

θ^1 Ori CaCb = HD 37 022 AB. Este objeto bien conocido es la estrella más brillante en el Trapecio y la principal fuente de fotones ionizantes en la nebulosa de Orión. En los últimos años, se ha detectado una compañera brillante ($\Delta m = 1.3$) a una pequeña separación (unas decenas de mas) y su órbita está siendo seguida actualmente (Kraus et al., 2007, 2009; Patience et al., 2008). Ca es un rotador oblicuo magnético con un período de 15.424 ± 0.001 días (Nazé et al., 2008b). El par Ca-Cb obviamente no está resuelto en nuestros espectros. Ver cartas en Figura 33.

θ^2 Ori A = HD 37 041. θ^2 Ori A es el otro sistema tipo O en la nebulosa de Orión. Una compañera Ab no está espacialmente resuelta en nuestros datos (separación de 0.396") pero su Δm es demasiado grande (2.62 mag en la banda z; Maíz Apellániz 2010) para tener un efecto significativo en los espectros observados. Las componentes B y C están más lejos de 30" y tienen sus propios números HD (B es HD 37 042 y C es HD 37 062, Mason et al. 1998). La distancia revisada de Hipparcos con la nueva calibración es de 520^{+201}_{-103} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a). La clase de luminosidad IV derivada aquí a partir de He II $\lambda 4686$ /He I $\lambda 4713$ es poco probable que represente un efecto de luminosidad real en esta estrella que probablemente es de secuencia principal de edad cero (ZAMS).

ζ Ori B = HD 37 743. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Pudimos separar el espectro B del de A (= HD 37 742), ubicado a una separación de 2.424" y con un Δm de 2.26 mag en la banda z. En Maíz Apellániz et al. (2004), fue dado como una gigante B temprana, pero Garmany et al. (1982) lo clasificó como O9.5 IV.

μ Col = HD 38 666. μ Col es una estrella fugitiva, probablemente expulsada del Trapecio hace 2.5 Ma (Hoogerwerf et al., 2001). La nueva calibración de Hipparcos da una distancia revisada de 412^{+38}_{-32} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).

HD 44 811. Ver cartas en Figura 33.

HD 46 056 A. Se ha determinado que la componente B a una separación de 10.419" y un Δm de 2.78 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010) es del tipo espectral B temprano (Mahy et al. 2009). Esto sugieren que las líneas generales de la componente A son causadas por una rotación rápida.

HD 46 106. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. La clase de luminosidad cambió de II-III a III y se añadió un sufijo (n) en GOSSS-DR1.1. La clase de luminosidad obtenida a partir de He II $\lambda 4686$ /He I $\lambda 4713$ entra en conflicto con la de la línea muy débil de Si IV que correspondería a una clase de luminosidad V.

HD 52 533 A = BD -02 1885. Hay varias compañeras débiles cerca de HD 52 533 A, pero la más brillante es C, con un Δm de 1.1 mag y una separación de 22.6" (Mason et al., 1998). Colocamos C en la ranura y obtuvimos un tipo espectral G para esa componente. Ver cartas en Figura 33.

τ CMa AaAb = HD 57 061 AaAb. Este es un sistema complejo, con tres componentes visuales dentro de 1" y algunas más fuera de él (τ CMa es por mucho el sistema más brillante en el cúmulo abierto NGC 2362 y no está claro dónde termina el sistema múltiple y comienza el cúmulo). El espectro de GOSSS corresponde a la luz combinada de Aa+Ab+E. E es demasiado débil para modificar el tipo espectral pero el Δm entre Aa y Ab es solo 0.8 mag y la separación es 0.122"; por lo tanto, la clasificación O9 II es compuesta. El sistema se complica aún más por ser (1) una binaria espectroscópica de línea simples con un período de 154.9 días (Stickland et al., 1998) y (2) una binaria eclipsante con un período de 1.282 días (van Leeuwen y van Genderen 1997). Por lo tanto, el sistema incluye al menos cinco componentes dentro de 1".

HD 57 236. Esta estrella fue clasificada como O8 V((f)) por Walborn (1982c). Con los nuevos criterios en torno al subtipo espectral O9, lo reclasificamos como O8.5 V.

CPD -26 2716 = CD -26 5136. He II $\lambda 4686$ está claramente en emisión en esta estrella, lo que nos lleva a cambiar la clase de luminosidad de Ib (Walborn 1982c) a Iab. Este objeto es variable en los espectros de OWN en escalas de tiempo de 1 día.

HD 64 568. Esta fue una de las diez estrellas O3 en Walborn (1982a). Solivella y Niemelä (1986) indicaron que es una posible SB1. El sufijo ((f*))z se omitió por error en GOSSS-DR1.0. La multiplicidad visual para este objeto se midió en imágenes ACS/HRC.

HD 68 450. En WDS dan dos compañeras débiles lejos de la primaria.

HD 69 106. Esta estrella brillante no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) debido a la falta de clasificaciones previas como tipo O de las que teníamos conocimiento. La razón probable de esto es el ensanchamiento de He II $\lambda 4542$ en este rotador rápido O9.7.

HD 69 464. E. J. Aldoretta et al. (2015) recientemente descubrieron una secundaria débil a 0.92" de la primaria. El sufijo (f) se omitió por error en GOSSS-DR1.0.

HD 71 304. Esta estrella fue clasificada como O9.5 por Walborn (1973b) y aquí la reclasificamos como O9 II según los criterios revisados en torno a O9.

NX Vel AB = HD 73 882 AB. No podemos resolver espacialmente la componente B indicada en WDS con una separación de 0.7" y un Δm de 1.3 mag. Otero (2003) descubrió que este sistema es una binaria eclipsante con un período de 2.9199 días. Los datos de OWN muestran una órbita SB1 con un período preliminar de 20.6 días, elevando el número total de cuerpos en el sistema a cuatro.

HD 74 920. Esta estrella O fue excluida inadvertidamente de Maíz Apellániz et al. (2004) a pesar de que fue clasificada como O8: por Thackeray y Andrews (1974). El sufijo ((f)) se omitió por error en GOSSS-DR1.0.

HD 75 211. El sufijo ((f)) se omitió por error en GOSSS-DR1.0. Los datos de OWN indican que es una SB1 con un período de 20.4 días.

HD 75 222. Esta estrella fue clasificada como O9.7 Iab por Walborn (1973b), que se mantiene aquí.

CPD -47 2962 = ALS 1215 = CD -47 4550. Esta estrella no tenía clasificaciones previas de tipo O y no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) La colocamos en la misma ranura que CPD -47 2963 y descubrimos que era una estrella O.

HDE 298 429. Esta estrella fue clasificada como O8 III((f)) por Walborn (1982c) y aquí la reclasificamos como O8.5 V.

HD 91 572. Este objeto es una SB1 según los datos de OWN. El sufijo z se agregó en GOSSS-DR1.1.

HD 91 824. El sufijo ((f))z se agregó en GOSSS-DR1.1. Los datos del OSN indican que es una SB1 con un período de 112 días.

HD 91 837. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) y, hasta donde sabemos, nunca se había clasificado como estrella O.

HD 92 206 B. Esta estrella en NGC 3324 no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004), probablemente porque su espectro se había analizado previamente solo junto con el de A (véase, por ejemplo, Walborn 1982c). En este sistema, cada uno de los componentes A, B y C contiene al menos una estrella O. Ver cartas en Figura 33 (campo HD 92 206).

HD 92 504. En WDS dan una compañera con una separación de 8.7" y un pequeño Δm . Viendo las imágenes disponibles en Aladin y con el catálogo de fuentes puntuales de 2MASS revela que la separación es correcta, pero la diferencia de magnitud es significativamente mayor (más de 2 mag).

HD 92 607. Esta estrella en la nebulosa de Carina no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004), pero anteriormente fue clasificada como una estrella O por Forte y Orsatti (1981).

HDE 305 438. Esta estrella en la nebulosa de Carina no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004), pero Thackeray y Andrews (1974) la clasificaron previamente como una estrella O.

HDE 303 316 A. Esta estrella en la nebulosa de Carina no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004), pero anteriormente fue clasificada como una estrella O por Forte y Orsatti (1981). Una compañera con una separación de 10.9" y un Δm de 1.9 mag se resolvió espacialmente en GOSSS; es una estrella B temprana.

HD 93 028. Según Levato et al. (1990), este objeto es una SB1 con un período de 51.554 días. Los datos de OWN indican que el período es cercano a cuatro veces ese valor. Esta estrella fue clasificada como O9 V por Walborn (1972) y fue revisada a O9 IV por Sota et al. (2011).

HD 93 027. Esta estrella fue clasificada como O9.5 V por Walborn (1973a) y fue revisada a O9.5 IV por Sota et al. (2011).

HDE 303 312 = CPD -58 2604 = V725 Car = CD -58 3523. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004), pero anteriormente fue clasificada como una estrella O por Forte y Orsatti (1981). Otero (2006) considera que es una binaria eclipsante excéntrica con un período de 9.4109 días.

ALS 15 204 = Trumpler 14 MJ 92. Este objeto es un descubrimiento fortuito (por lo tanto, no se incluyó en Maíz Apellániz et al. 2004): se colocó en la ranura porque se observó otra estrella O cerca. Una componente débil enrojecida puede indicar la presencia de una acompañante espectroscópica B débil. El sufijo z se agregó en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 14).

HDE 305 518. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004), pero anteriormente fue clasificada como una estrella O por Levato y Malaroda (1982).

CPD -58 2611 = Trumpler 14-20. Walborn (1982c) clasificó esta estrella como O6 V((f)). Ahora hemos agregado el sufijo z, pero mantuvimos el resto sin cambios. Esta estrella fue señalada como posible SB1 por García et al. (1998). Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 14). La multiplicidad visual para este objeto se midió en imágenes ACS/WFC.

ALS 15 207 = Trumpler 14-21. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero anteriormente fue clasificada como una estrella O por Morrell et al. (1988). Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 14).

Trumpler 14-9 = Trumpler 14 MJ 165 = 2MASS J10435540-5932493. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero anteriormente fue clasificada como una estrella O por Morrell et al. (1988). El sufijo z se eliminó en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 14) y la Figura 37 para una imagen ACS/HRC. La multiplicidad visual para este objeto se midió en imágenes ACS/HRC.

HD 93 129 AaAb. Este objeto fue considerado una estrella O3 en Walborn (1982a) y luego se convirtió en el prototipo O2 If* (Walborn et al. 2002). Es el sistema más masivo en el núcleo de Trumpler 14 en la nebulosa Carina. Fue separado por Nelan et al. (2004) en dos componentes (Aa y Ab) usando HST/FGS. Observaciones posteriores con HST/HRC y HST/FGS por Maíz Apellániz et al. (2005, 2008b) detectaron un movimiento propio a lo largo del radio vector (es decir, ángulo de posición casi constante) entre Aa y Ab con un valor promedio (actualizado con datos no publicados) de 2.14 ± 0.21 mas/a y una separación de ≈ 40 mas a principios de 2009. El Δm de 0.9 indica que tanto Aa como Ab deben ser estrellas O de tipo muy temprano. La multiplicidad visual para este objeto se midió en imágenes ACS/HRC. El sistema es una binaria con colisión de vientos (Benaglia et al., 2010; De Becker y Raucq 2013). Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 14), y Figura 37 para una imagen ACS/HRC.

CPD -59 2551 = Collinder 228-21. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004), pero anteriormente fue clasificada como una estrella O por Levato y Malaroda (1981). Ver cartas en Figura 33 (campo HD 93 146).

HD 93 129 B. Este objeto fue la tercera estrella O3 en Walborn (1982a) (además de HD 93 129 A - ahora AaAb y O2 - y HD 93 128) y está ubicado en el núcleo de Trumpler 14. Está separado por $2.5''$ de AaAb y tiene magnitudes similares a sus hermanas HD 93 129 Ab y HD 93 128. Tiene C III $\lambda 4650$ en emisión, pero no es lo suficientemente fuerte como para poner el sufijo c. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 14) y la Figura 37 para una imagen ACS/HRC. La multiplicidad visual para este objeto se midió en imágenes ACS/HRC.

HD 93 146 B. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004), pero anteriormente fue clasificada como una estrella O por Levato y Malaroda (1981). De acuerdo con WDS, las componentes A y B de HD 93 146 tienen un Δm de 1.5 mag y una separación de $6.5''$. Ambas son estrellas O. Ver cartas en Figura 33 (campo HD 93 146).

CPD -58 2620 = Trumpler 14-8. El sufijo ((f)) se omitió por error en GOSSS-DR1.0. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 14).

HD 93 146 A. El sufijo ((f))z se agregó en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo HD 93 146) y más arriba para obtener una breve descripción de HD 93 146 B. Los datos de OWN indican que es una SB1 con un período de 1130 días.

HD 93 130 = V661 Car. Este objeto es una binaria eclipsante excéntrica con un período de 23.944 días (Otero 2006). Los datos de OWN también muestran que es una SB1.

CPD -59 2554 = Collinder 228-67. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como una estrella O por Massey et al. (2001). Ver cartas en Figura 33 (campo HD 93 146).

CPD -58 2627. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como una estrella O por Forte y Orsatti (1981).

HD 93 160. El sufijo (f) se cambió a ((f)) en GOSSS-DR1.1 de acuerdo con las reglas en la Tabla 13. HD 93 160 está a 12.6" de distancia de HD 93 161 A. Ver cartas en Figura 33 (Campo Trumpler 14).

HD 93 161 B. HD 93 161 A y B están separados por 2" y ambas son sistemas de tipo O. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) porque Walborn (1972) produjo un tipo espectral para el sistema combinado AB. La clase de luminosidad se cambió de V a IV en GOSSS-DR1.1. Esta estrella tiene C III $\lambda 4650$ en emisión, pero no es lo suficientemente fuerte como para poner un sufijo c. N. R. Walborn no estaba de acuerdo con el subtipo espectral de esta estrella y creía que debería ser O6 en lugar de O6.5 basado en la relación de He I + He II $\lambda 4026$ /He II $\lambda 4200$. Sin embargo, cualquiera de las combinaciones entre las líneas He intensas excluyendo He I + He II $\lambda 4026$ (He II $\lambda 4200$, He I $\lambda 4471$, He II $\lambda 4442$, y He II $\lambda 4686$) produce relaciones esencialmente idénticas a las de la estándar O6.5 IV utilizada en esta tesis, de ahí la clasificación O6.5. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 14).

HDE 305 536. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero Levato y Malaroda (1981) la clasificaron como tipo O. Levato et al. (1990) descubrieron que es una SB1 con un período de 2.018 días. Ver cartas en Figura 33 (campo HD 93 146).

ALS 15 210 = Trumpler 16-244. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero Massey y Johnson (1993) la clasificaron como O3/4 If. Obtenemos O3.5 If* Nwk, convirtiéndola en la estrella O2-O3.5 más extinta en la Nebulosa Carina conocida hasta la fecha. He II $\lambda 4686$ muestra un perfil P-Cygni que, por analogía con Pismis 24-1 A, podría implicar la existencia de una compañera. El sufijo Nwk se añadió en GOSSS-DR1.1 por las líneas N V $\lambda \lambda 4604-4620$ débiles y C IV $\lambda 4658$ fuerte. Smith et al. (2004) consideraron que esta estrella y/o la adyacente HD 93 162 son las principales fuentes responsables de crear la estructura del "dedo desafiante" de Carina. En las imágenes ACS/HRC existentes, detectamos una compañera visual previamente no publicada. Tiene una separación de 1.09", un ángulo de posición de 314° y un ΔV de 8.9 mag. La magnitud y los colores son consistentes con los de una estrella de $\sim 1 M_{\odot}$. En las imágenes saturadas de ACS/WFC se ve una compañera aún más débil (separación de 1.49", ángulo de posición de 102° y ΔV de 10.7 mag). Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16) y la Figura 37 para una imagen ACS/HRC.

HDE 305 523. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O9 II. Aquí cambiamos su clase de luminosidad a II-III.

Tyc 8626-02506-1. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) y, a nuestro entender, esta es la primera vez que recibe una clasificación clara de tipo O.

HD 93 204. En las imágenes ACS/HRC existentes detectamos tres compañeras visuales no publicadas anteriormente. Tienen separaciones de 1.40", 1.67" y 4.81"; ángulos de posición de 42°, 209° y 0°; y ΔV de 6.7, 8.9 y 8.7 mag, respectivamente. La relación de intensidad C III $\lambda 4650$ /N III $\lambda 4634$ (en emisión) de 0.9 coloca este espectro justo debajo del límite de la categoría fc. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

HD 93 222. El sufijo ((f))z se agregó en GOSSS-DR1.1.

HDE 303 311. En WDS dan una compañera con una separación de 2.3" y un Δm de 2.9 mag, es decir, no lo suficientemente brillante como para influir en el tipo espectral. El sufijo ((f))z se agregó en GOSSS-DR1.1.

HDE 305 524. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Levato y Malaroda (1981).

CPD -59 2610 = Collinder 228-39. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Levato y Malaroda (1981).

CPD -59 2626 AB = Trumpler 16-23 AB. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Levato y Malaroda (1982). Cerca hay una componente B no resuelta espacialmente que tiene una separación de 16 mas y un Δm de 1.6 mag (Nelan et al., 2004, 2010). El sufijo z se agregó en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

CPD -59 2634 = Trumpler 16-9. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Massey y Johnson (1993). Tiene una componente B no resuelta espacialmente con una separación de 77 mas y un Δm de 2.4 mag (Nelan et al., 2004). La clase de luminosidad se cambió a IV en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

CPD -59 2627 = Trumpler 16-3. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Massey y Johnson (1993). Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

CPD -59 2629 = Trumpler 16-22. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como O8.5 V por Massey y Johnson (1993). Nazé et al. (2012a) descubrieron un campo magnético en esta estrella con una fuerte emisión de H α . Observamos una emisión débil en H β en el medio de la absorción estelar, algo que también se detecta en otras estrellas magnéticas O. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

CPD -59 2644. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Levato y Malaroda (1982). El subtipo espectral se cambió a O9 en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo Trumpler 16).

[ARV2008] 206 = Trumpler 16 MJ 568. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) y, hasta donde sabemos, nunca se había clasificado ópticamente como una estrella O.

HDE 305 532. Esta estrella fue clasificada como O6 V((f)) por Walborn (1982c). Aquí lo reclasificamos como O6.5 V((f))z. Levato et al. (1990) encontraron velocidades variables, posiblemente indicando una binaria espectroscópica.

HDE 305 525. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Levato y Malaroda (1981). En WDS dan una compañera con una separación de 4.7" y un Δm de 3.7 mag.

CPD -59 2673 = Feinstein 97 = Colinde 228-97. El sufijo ((f)) se agregó en GOSSS-DR1.1.

HDE 305 539. Esta estrella fue clasificada como O7p por Walborn (1982c). Aquí aparece como una O8 Vz relativamente normal, con la intensidad de las líneas metálicas típicas para ese tipo espectral. Ver cartas en Figura 33 (campo HD 93 632).

HD 93 576. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Levato y Malaroda (1981). De acuerdo con Levato et al. (1990), es una SB1 con un período de 2.02 días. Ver cartas en Figura 33 (campo HD 93 632).

HD 93 632. Walborn (1973b) clasificó HD 93 632 como O5 III(f) var, pero en nuestro espectro de GOSSS claramente tiene una clase de luminosidad de I, basada en He II $\lambda 4686$ fuertemente en emisión. Los espectros de OWN recientes muestran He II $\lambda 4686$ más débil, lo que indica una variabilidad inusual, posiblemente relacionada con la presencia de un campo magnético. Esta estrella tiene C III $\lambda 4650$ en emisión, pero no es lo suficientemente fuerte como para poner un sufijo c. Ver cartas en Figura 33 (campo HD 93 632).

ALS 18 083 = Bochum 11-5. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Fitzgerald y Mehta (1987). Ver cartas en Figura 33 (campo HD 93 632).

HDE 305 612. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Fitzgerald y Mehta (1987). Ver cartas en Figura 33 (campo HD 93 632).

HDE 305 619. La clase de luminosidad de esta estrella se cambió de Ib a II en GOSSS-DR1.1.

HD 93 521. Esta estrella es un pulsador no radial (Rauw et al., 2008).

HD 94 024. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O8 V((n)). Aquí encontramos que es O8 IV. Los datos de OWN indican que este sistema es una SB1.

HDE 303 492. Walborn (1982c) clasificó esta estrella como O9 Ia. Se ha adoptado como el estándar O8.5 Iaf de acuerdo con los criterios revisados alrededor de O9 discutidos en la sección 4.2.1.1.

HD 94 963. El sufijo (f) se agregó en GOSSS-DR1.1.

ALS 18 556. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004). Simbad proporciona un tipo espectral O5, pero no hemos podido encontrar ninguna referencia que haya obtenido previamente un espectro óptico para este objeto. Aparentemente, la fuente del "tipo espectral" en Simbad es una estimación puramente fotométrica de Wramdemark (1976), suponiendo que la estrella es de secuencia principal. En realidad, su tipo espectral es O9.5 Iabp, con la p derivada de las relaciones discrepantes entre las líneas He utilizadas para determinar el tipo espectral preciso para las estrellas O tardías.

HD 95 589. El sufijo ((f)) se agregó en GOSSS-DR1.1.

HD 96 715. El sufijo ((f)) z se agregó en GOSSS-DR1.1.

HD 96 917. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O8.5 Ib(f) y aquí cambiamos la clasificación a O8 Ib(n)(f), que es ligeramente diferente de la de GOSSS-DR1.0. De acuerdo con los datos de OWN, es una SB1 con un período probable de 4.03 días.

HD 96 946. Según datos del OSN, este sistema es una SB1 con un período probable de 4.34 días. El sufijo (f) se agregó en GOSSS-DR1.1.

HD 97 253. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O5.5 III(f). Obtenemos la misma clase y sufijo de luminosidad, pero como una O5.

HD 97 848. Walborn (1982c) clasificó esta estrella como O8 V y ese mismo tipo espectral también se encuentra aquí. Esta estrella es z marginal.

HD 99 897. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O6 V(f). Aquí obtenemos O6.5 IV((f)).

HDE 308 813. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero Schild (1970) la clasificó como una estrella O. De acuerdo con Williams et al. (2013), es una SB1 con un período de 6.340 días. El tipo espectral se cambió de O9.5 a O9.7 en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo IC 2944).

HD 101 191. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O8 V((n)). Nosotros obtenemos O8 V. Sana et al. (2011a) indican que se trata de un sistema SB1 de período largo. Los datos de OWN, sin embargo, apuntan a un período de 25.8 días. Ver cartas en Figura 33 (campo IC 2944).

HD 101 223. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O8 V((f)). Obtenemos el mismo tipo espectral sin el sufijo. Ver cartas en Figura 33 (campo IC 2944).

HD 101 298. La clasificación se cambió de O6 V((f)) a O6.5 IV((f)) en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo IC 2944).

HD 105 627. Según datos de OWN, este sistema es una SB1 con un período probable de 2.692 días.

HD 113 659. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) a pesar de que tiene $B=8.0$. El tipo espectral cambió de O9.5 V en GOSSS-DR1.0 a O9 IV aquí. Es una binaria eclipsante con un período de 3.4273 días (Otero 2007).

θ Mus B = HD 113 904 B. Esta estrella O se encuentra a 5.5" al sur de la componente A más brillante, una binaria WR+O (WR 48) que tiene una compañera separada por 47 mas (Hartkopf et al., 1999). Resolvemos espacialmente fácilmente los espectros de A y B. θ Mus B es una SB1 según los datos de OWN.

HD 114 737 AB. En WDS dan una componente B con una separación de 0.2" y un Δm de 1.5 mag. De acuerdo con los datos de OWN, este sistema es una SB1 con un período de 12.38 días.

HD 116 282. Walborn (1982c) clasificó esta estrella como O8 III(n)((f)). Obtenemos la misma clasificación, pero solo con (n) como sufijo.

HD 116 852. El sufijo ((f)) se agregó en GOSSS-DR1.1.

HD 118 198. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O9.5 II-III. Aquí obtenemos O9.7 III (en GOSSS-DR1.0 la clase de luminosidad era IV).

HD 120 521. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O8 Ib(f). Aquí obtenemos O7.5 Ib(f) (en GOSSS-DR1.0 la clase de luminosidad era Ib-II). Los datos de OWN indican que es variable.

HD 125 241. El sufijo (f) se agregó en GOSSS-DR1.1. Los datos de OWN indican que es variable.

HD 130 298. Este objeto es una SB1 con un período de 14.63 días según los datos de OWN. El sufijo (n)((f)) se cambió a (n)(f) en GOSSS-DR1.1.

HD 135 591. El sufijo ((f)) se agregó en GOSSS-DR1.1.

CPD -54 6791 AB = Muzzio I-116. En WDS dan una componente B con una separación de 1.1" y un Δm de 0.4 mag que no podemos resolver espacialmente en los datos de GOSSS. Los datos de OWN indican que una SB1 de largo período puede estar presente en el sistema, pero no necesariamente ser la componente más brillante.

HD 148 546. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O9 Ia y aquí la clase de luminosidad se cambia a Iab. Los datos de OWN indican que es variable.

μ Nor = HD 149 038. Walborn (1972) clasificó esta estrella como O9.7 Iab y ese tipo espectral también es el derivado de los datos de GOSSS.

HD 149 452. Walborn (1972) clasificó esta estrella como O8 Vn((f)) y con los datos de GOSSS obtenemos O9 IVn.

HDE 328 856. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Whiteoak (1963). La clase de luminosidad se cambió a II en GOSSS-DR1.1.

CPD -46 8221. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Vijapurkar y Drilling (1993). La clase de luminosidad se cambió a II-III en GOSSS-DR1.1.

HD 151 018. Garrison et al. (1977) clasificaron esta estrella como O9 Ia. Derivamos el mismo subtipo espectral pero una clase de luminosidad Ib.

HD 151 515. El sufijo (f) se omitió por error en GOSSS-DR1.1.

HD 152 200. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Schild et al. (1969). Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

CPD -41 7721 A = CD -41 11027 p. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Sana et al. (2008). En WDS dan una compañera B con una separación de 5.7" y un Δm de 1.0 mag que no se incluyó en el espectro de GOSSS. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

HDE 326 329 = CPD -41 7735. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Morgan et al. (1953a). En WDS dan una compañera débil a 7.7" de distancia. Ver cartas en Figura 33 (campo NGC 6231).

HD 152 405. Este objeto es un sistema SB1 con un período de 25.5 días según los datos de OWN.

HD 152 623 AB. Este objeto es un sistema SB1 según datos de OWN. En WDS dan una compañera con una separación de 0.3" y un Δm de 1.3 mag que no pudimos resolver espacialmente en los datos de GOSSS. El sistema es una binaria con vientos en colisión (De Becker y Raucq 2013).

HD 152 723 AaAb. Este objeto es un sistema SB1 con un período de 18.9 días según los datos de OWN. En WDS dan tres compañeras (B, C y D) bien resueltas en una distancia de 15" que no están incluidas en los datos de GOSSS. Sin embargo, Ab tiene una separación de 0.098" y un Δm de 1.7 mag (Mason et al., 2009), por lo que probablemente contribuya a la clasificación espectral.

HDE 322 417 = Trumpler 24-430. Este objeto es un sistema SB1 con un período de 223 días según los datos de OWN. El sufijo ((f)) se omitió por error en GOSSS-DR1.0

HD 154 643. Este objeto es un sistema SB1 con un período de 28.6 días según los datos de OWN.

HD 155 775 = V1012 Sco. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Goy (1973). Es una binaria eclipsante según Malkov et al. (2006).

HD 155 756. Esta estrella se clasificó como O9.5 Iab en GOSSS-DR1.0 y ahora es O9 Ibp. La peculiaridad surge de las discrepancias entre los criterios de luminosidad y la presencia de ambas líneas N y C intensas (excepto para N III $\lambda\lambda 4634-40-42$).

HD 156 154. Este objeto es un sistema SB1 según datos de OWN. El sufijo (f) se agregó en GOSSS-DR1.1.

ALS 18 770 = HM 1-18 = C1715-387-18. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) y, hasta donde sabemos, nunca antes se había clasificado como tipo O. El sufijo z se cambió a ((f))z en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo Havlen-Moffat 1).

ALS 18 768 = HM 1-10 = C1715-387-10. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) y, hasta donde sabemos, nunca antes se había clasificado como tipo O. Nuestros datos

son ruidosos, pero hay indicios de que las líneas de absorción C y Si son más intensas de lo esperado mientras que las líneas de N no son débiles. Eso podría ser un signo de alta metalicidad. Ver cartas en Figura 33 (campo Havlen-Moffat 1).

ALS 18 771 = HM 1-19 = C1715-387-19. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) y, hasta donde sabemos, nunca antes se había clasificado como tipo O. El tipo espectral se cambió de O8.5 a O9 en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo Havlen-Moffat 1).

ALS 18 767 = HM 1-9 = C1715-387-9. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) y, hasta donde sabemos, nunca antes se había clasificado como tipo O. Ver cartas en Figura 33 (campo Havlen-Moffat 1).

HDE 319 703 BaBb. La componente B en HDE 319 703 está bien separada (14") de A, pero está más cerca de C (5.4"). De acuerdo con WDS, B en sí comprende Ba y Bb, con un Δm de 1.5 mag y una separación de 0.2". Nuestro espectro corresponde al compuesto BaBb. C está claramente resuelto espacialmente en los datos de GOSSS: es una estrella B temprana. Ver cartas en Figura 33 (campo HDE 319 703), donde C está al norte de BaBb.

HDE 319 703 D = 2MASS J17194894-3606029. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004). De hecho, hasta donde sabemos, nunca se han obtenido espectros. La colocamos en la rendija con HDE 319 703 A por su proximidad y descubrimos que también era una estrella O. Ver cartas en Figura 33 (campo HDE 319 703).

HD 156 738. El sufijo (f) se agregó en GOSSS-DR1.1. La clasificación O6.5 III(f) es la misma que la de Walborn (1982c).

Pismis 24-10. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Massey et al. (2001). El subtipo espectral se cambió de O9.5 a O9 en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo Pismis 24).

ALS 17 696 = Pismis 24-3. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Massey et al. (2001). La clase de luminosidad se cambió a V en GOSSS-DR1.1. Ver cartas en Figura 33 (campo Pismis 24).

Pismis 24-2 = ALS 17 695. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Massey et al. (2001). Ver cartas en Figura 33 (campo Pismis 24).

Pismis 24-17 = HDE 319 718 B = ALS 18 752. Debido a un error en GOSSS-DR1.0, el sufijo (f*) se omitió allí. El tipo espectral que obtenemos en GOSSS es el mismo que en Maíz Apellániz et al. (2007). Ver cartas en Figura 33 (campo Pismis 24). La multiplicidad visual para este objeto se midió en imágenes ACS/HRC.

ALS 16 052 = Pismis 24-13. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero fue clasificada como tipo O por Massey et al. (2001). Ver cartas en Figura 33 (campo Pismis 24). Es probable que sea una de las estrellas más jóvenes en nuestra muestra (que es consistente con la interpretación del sufijo z que indica una edad joven). Probablemente, el pilar que está sobre ella haya sido producido por Pismis 24-1 AB y Pismis 24-17, ya que esas son las fuentes principales de fotones ionizantes en la región.

HD 161 807. Esta estrella no se incluyó en Maíz Apellániz et al. (2004) y, hasta donde sabemos, nunca se había clasificado como tipo O. La observamos porque era una estrella brillante clasificada como Bo (Garrison et al., 1977). Garrison et al. (1983) notan que es un binaria eclipsante.

63 Oph = HD 162 978. El subtipo espectral se cambió de O7.5 a O8 en GOSSS-DR1.1.

HD 163 800. El sufijo ((f)) se agregó en GOSSS-DR1.1.

HD 163 892. Este objeto es un sistema SB1 con un período de 7.83 días según los datos de OWN.

HD 164 019. Walborn (1982c) clasificó esta estrella como O9.5 III y aquí revisamos la clase de luminosidad a IV. Las líneas metálicas son particularmente intensas, de ahí el sufijo p.

HD 164 492 A. Esta estrella es la fuente principal de ionización de la Nebulosa Trífida y tiene tres compañeras a 20" de acuerdo con el catálogo WDS. De ellas, la más brillante es C, con una separación de 10.9" y un Δm de 1.1 mag. Colocamos C en la rendija y determinamos que es una estrella B temprana.

HD 164 536. Esta estrella no fue incluida en Maíz Apellániz et al. (2004) pero MacConnell y Bidelman (1976) la clasificaron como tipo O. Este sistema es una SB1 con un período de 13.4 días (Williams et al., 2013). En WDS dan un débil acompañante a 1.7" de distancia. El sufijo (n) se cambió a (n)z en GOSSS-DR1.1.

HD 165 319. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. En Maíz Apellániz (2004), apareció como Bo Ia (Morgan et al., 1955).

HD 166 546. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O9.5 II-III y aquí revisamos la clase de luminosidad a IV.

15 Sgr = HD 167 264. Este sistema es una SB1 con un período de 668 días según los datos de OWN. En WDS dan una compañera débil con una separación de 1.3".

16 Sgr AaAb = HD 167 263 AaAb. Este sistema es una SB1 con un período de 14.75825 días (Stickland y Lloyd 2001). Mason et al. (2009) miden un Δm de 2.0 mag y una separación de 69 mas entre Aa y Ab, obviamente no está resuelto espacialmente en GOSSS. E. J. Aldoretta et al. (2015) dan una separación similar, pero con un Δm menor (así como un ángulo de posición que difiere casi 180°). La clase de luminosidad se cambió de II-III a III en GOSSS-DR1.1.

HD 167 659. Mason et al. (1998) dan una compañera a 0.08" pero no proporcionan un Δm , por lo que su efecto no está incluido en el nombre. Recientemente se descubrió que esta estrella es una SB1 (Gamen et al., 2008).

BD -12 4979. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Ver cartas en Figura 33.

HD 168 076 AB. Este sistema tiene una separación de $0.148''$ y un Δm de 1.7 mag en la banda H. Sana et al. (2009) dan un espectro compuesto de O3.5 V((f+)) + O7.5 V. Ver cartas en Figura 33.

BD -13 4927. Ver cartas en Figura 33.

HD 168 941. Walborn (1982c) clasificó esta estrella como O9.5 II-III y aquí revisamos la clase de luminosidad a IV. Las líneas metálicas son particularmente intensas, de ahí el sufijo p.

HD 173 010. Esta es una estrella extremadamente luminosa. Podría clasificarse Ia+ dada la ausencia de emisión de He II $\lambda 4686$ como en las contrapartes de LMC (Corti et al., 2009).

HD 173 783. El espectro de N III es extremadamente fuerte, pero C III no es anormalmente débil.

HD 175 876. Walborn (1973b) clasificó esta estrella como O6.5 III(n)(f) y aquí confirmamos esa clasificación.

HDE 344 783. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Ver cartas en Figura 33.

HDE 344 782. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. El espectro incluye dos componentes (B y C) que son demasiado débiles para afectar al tipo espectral. Ver cartas en Figura 33.

HDE 344 784 A. En Maíz Apellániz (2004) esta estrella aparece como BD +22 3782. Ver cartas en Figura 33.

Cyg X-1 = V1357 Cyg = HDE 226 868. Este sistema es una binaria de rayos X con agujero negro prototípico de gran masa (Caballero-Nieves et al., 2009 y referencias en él).

HD 189 957. Esta estrella es la estándar para la categoría O9.7 III recientemente introducida.

HD 190 429 A. Como ya se mencionó, pudimos separar los espectros A y B. Mason et al. (1998) dan una componente Ab con una separación de $0.09''$ pero con un Δm grande, por lo que su existencia no se menciona en el nombre del objeto (es decir, es A en lugar de AaAb).

HD 190 429 B. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Pudimos separar claramente el espectro de A, ubicado a una separación de $1.959''$ y con un Δm de 0.61 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010).

HD 191 201 B. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC.

Cyg OB2-22 A = Schulte 22 A = [MT91] 417 A. Cyg OB2-22 A y B están separados por $1.521''$ con un Δm de 0.59 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010). Pudimos extraer los espectros individuales de A y B (ver más abajo para B). Ver también Walborn et al. (2002). Esta estrella tiene una masa espectroscópica/evolutiva extremadamente alta y no se ha resuelto a alta

resolución, incluido HST/ACS (Maíz Apellániz 2010), HST/FGS y Gemini AO (E. Nelan y D. Gies 2010, comunicación privada). Ver cartas en Figura 33.

Cyg OB2-22 B = Schulte 22 B = [MT91] 417 B. Cyg OB2-22 B en sí es un sistema doble compuesto por Ba y Bb. Su separación es $0.216''$ y su Δm es de 2.34 mag en la banda z (Maíz Apellániz 2010), que es demasiado grande para que el efecto de Bb se incluya en el nombre del objeto. Ver cartas en Figura 33.

V2185 Cyg = Schulte 50 = [MT91] 421. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Ver cartas en Figura 33.

Cyg OB2-7 = Schulte 7 [MT91] 457. Ver cartas en Figura 33.

Cyg OB2-8 B = Schulte 8 B = [MT91] 462. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Ver cartas en Figura 33.

Cyg OB2-8 D = Schulte 8 D = [MT91] 473. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. La versión actual del catálogo WDS tiene Cyg OB2-8 C y D intercambiados con respecto al uso más común. Ver cartas en Figura 33.

NSV 13 148 = Schulte 24 = [MT91] 480. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Ver cartas en Figura 33.

HD 204 827 AaAb. Este objeto no estaba presente en la versión 1 de GOSC. Mason et al. (1998) dan una separación de $0.12''$ y un Δm de 1.2 mag para el sistema Aa+Ab. B es más de 3 mag más débil. En Maíz Apellániz et al. (2004), se dio una clasificación de Bo.2 V. Con nuevas observaciones de GOSSS, se clasificó como O9.7 III (Sota et al. 2011), pero la señal/ruido fue relativamente baja en comparación con los valores típicos de GOSSS. Re-observamos la estrella y obtuvimos un tipo espectral revisado de O9.5 IV. Este cambio tuvo lugar después de GOSSS-DR1.0. El tipo espectral es probablemente un compuesto.

HD 206 183. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. En Maíz Apellániz et al. (2004), se dio una clasificación de Bo V.

HD 207 198. Mason et al. (1998) dan una compañera con $\Delta m=3.5$ mag a una separación de $18.3''$, por lo que su efecto no modifica el nombre. El tipo espectral cambió de O9 II a O8.5 II en GOSSS-DR1.1 como consecuencia de la redefinición de los subtipos espectrales O9-O9.5 asociados con la introducción del subtipo O9.2.

HD 207 538. Esta estrella no estaba presente en la versión 1 de GOSC. En Maíz Apellániz et al. (2004), se dio una clasificación de Bo.2 V, pero ahora es el estándar para la categoría O9.7 IV recientemente introducida.

10 Lac = HD 214 680. La distancia revisada de Hipparcos a esta estrella con la nueva calibración es de 542^{+77}_{-59} pc (Maíz Apellániz et al., 2008a).



Figura 32. (Continúa).

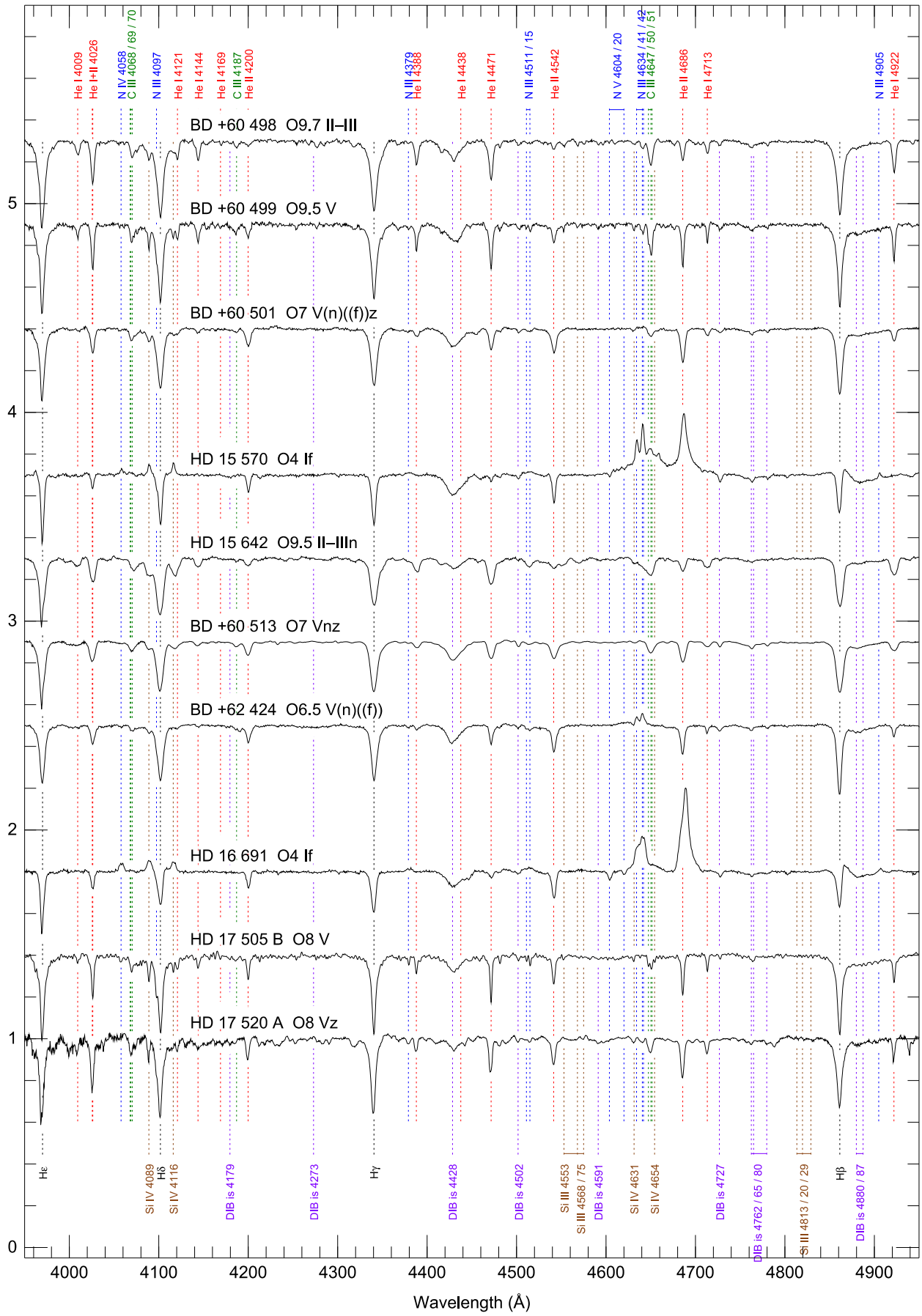


Figura 32. (Continúa).



Figura 32. (Continúa).



Figura 32. (Continúa).

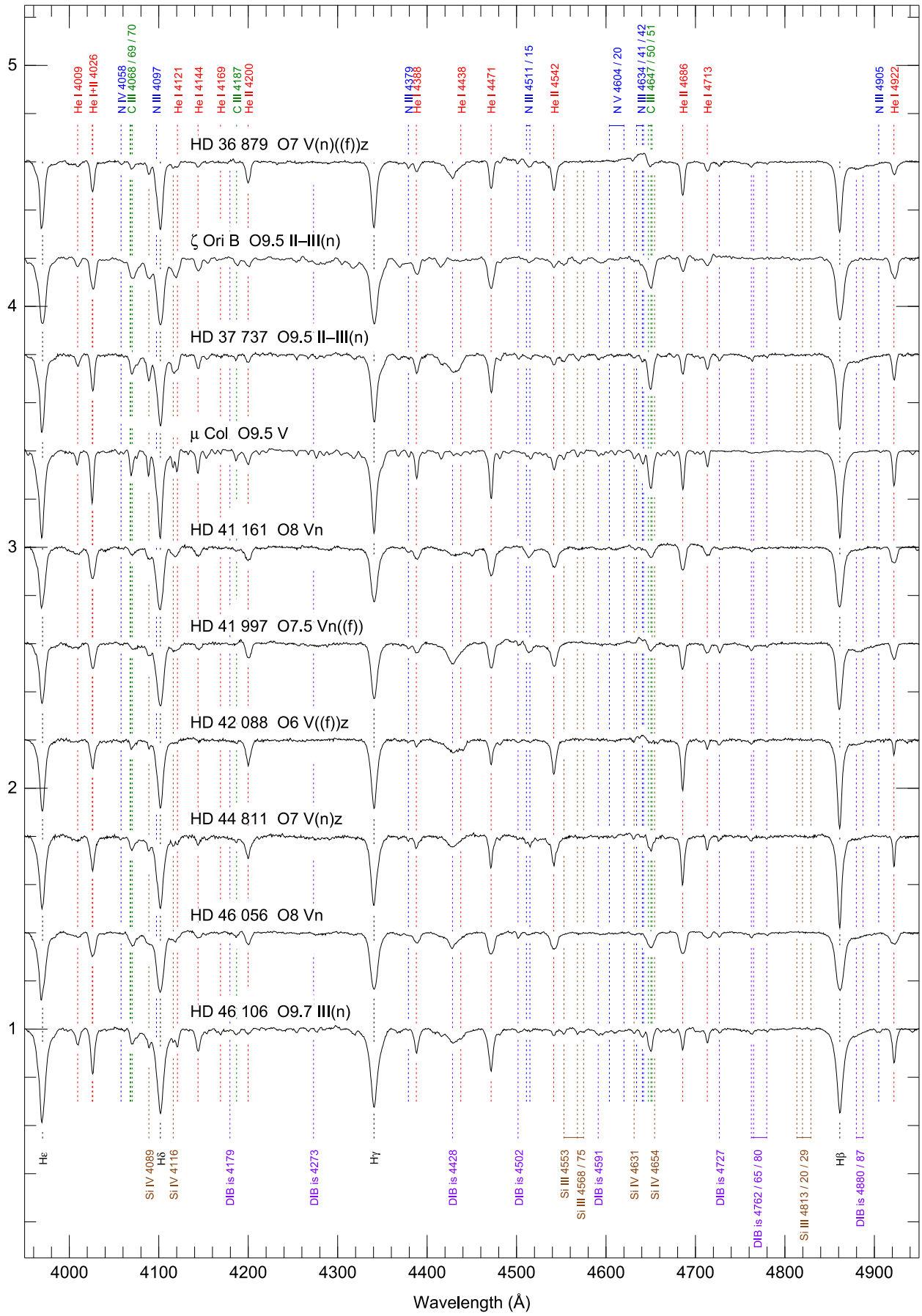


Figura 32. (Continúa).

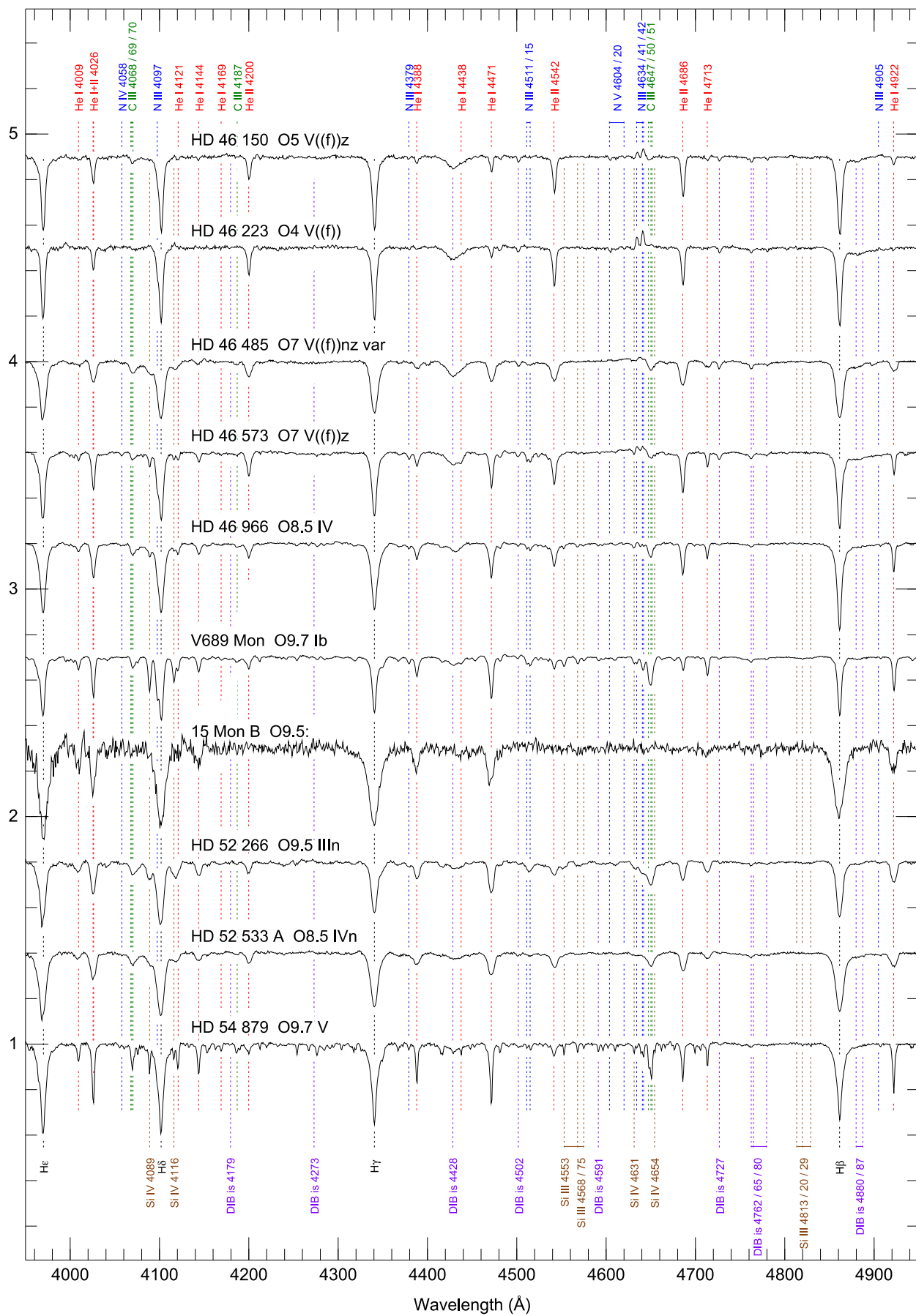


Figura 32. (Continúa).



Figura 32. (Continúa).

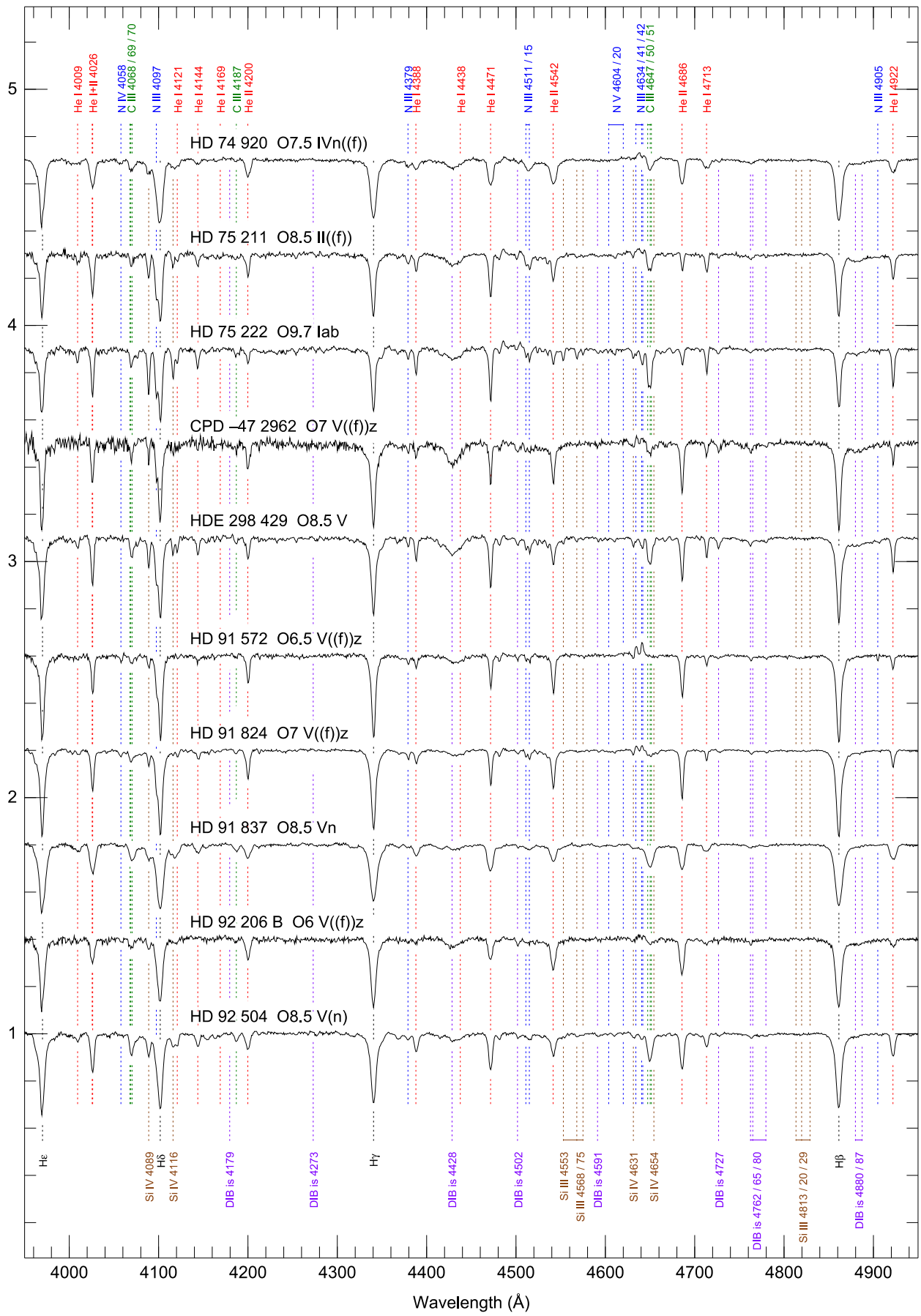


Figura 32. (Continúa).



Figura 32. (Continúa).

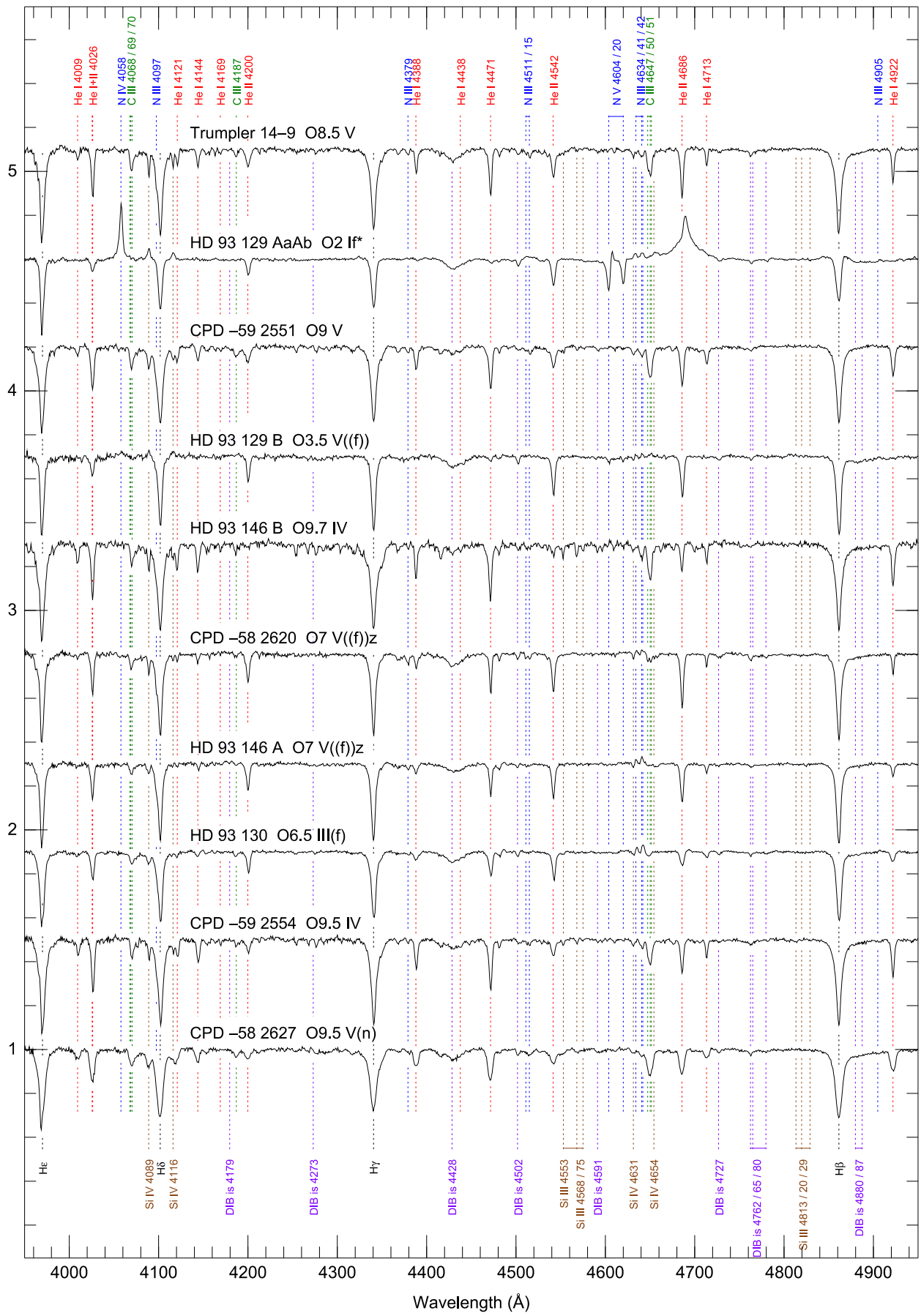


Figura 32. (Continúa).

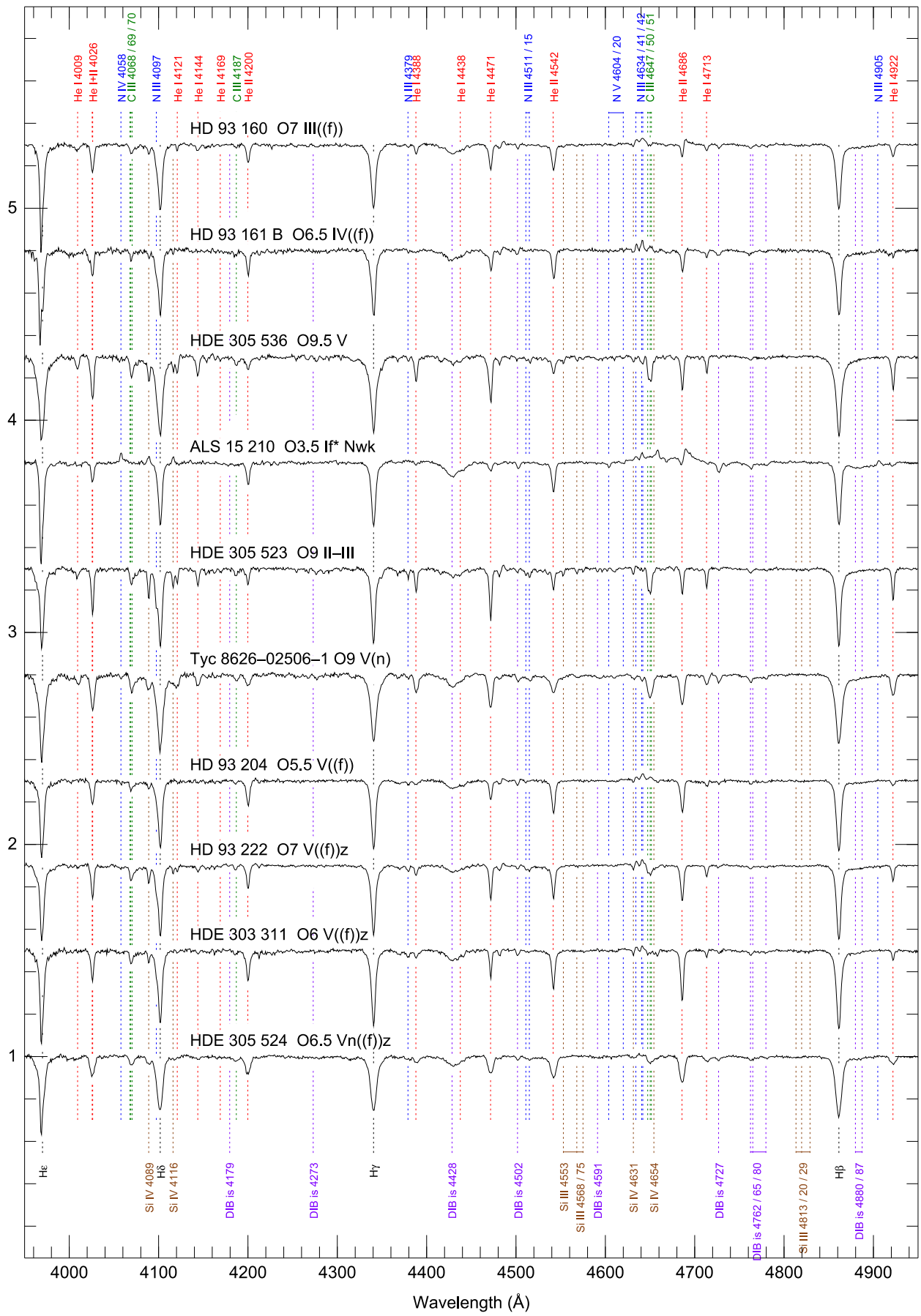


Figura 32. (Continúa).

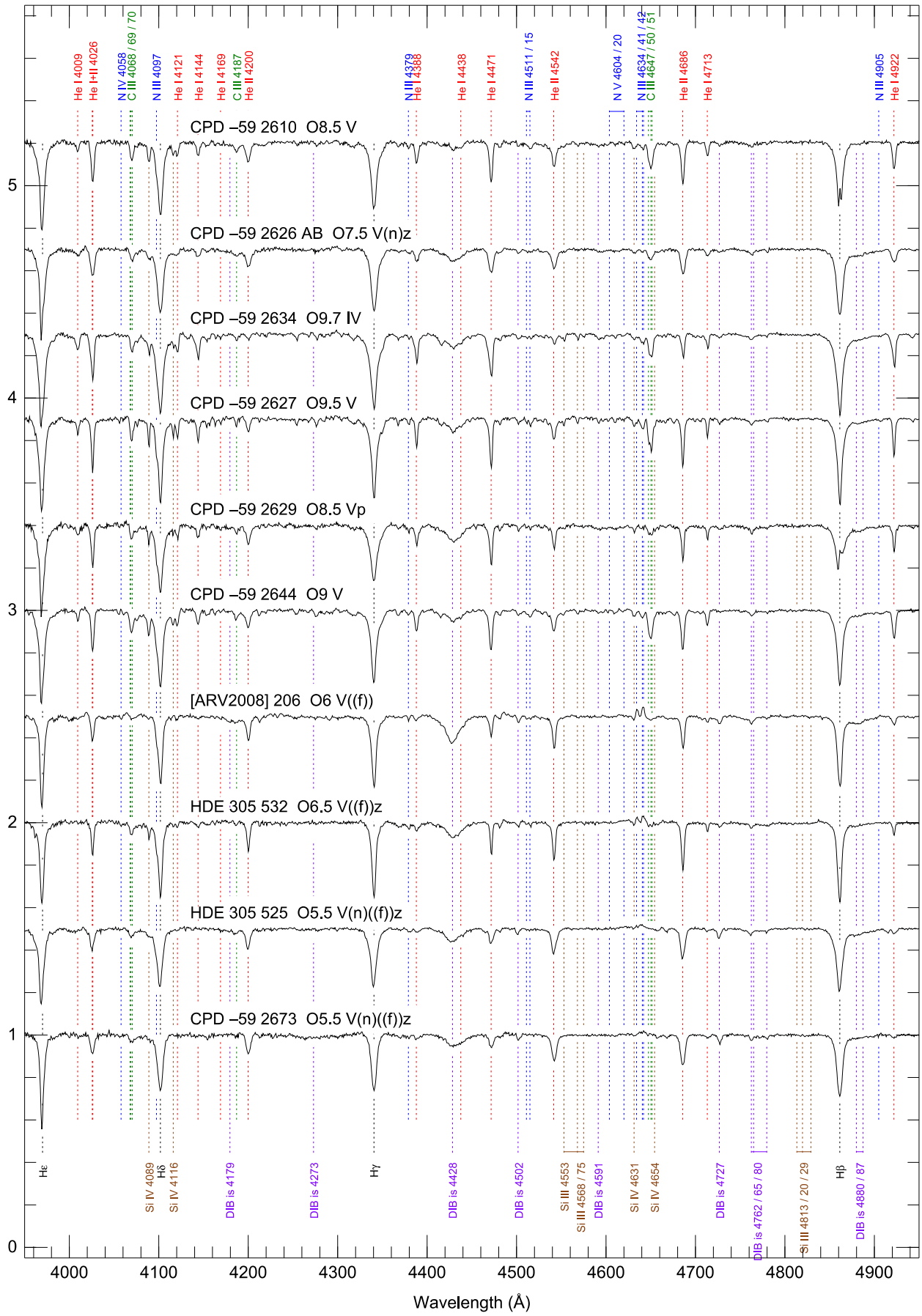


Figura 32. (Continúa).



Figura 32. (Continúa).



Figura 32. (Continúa).

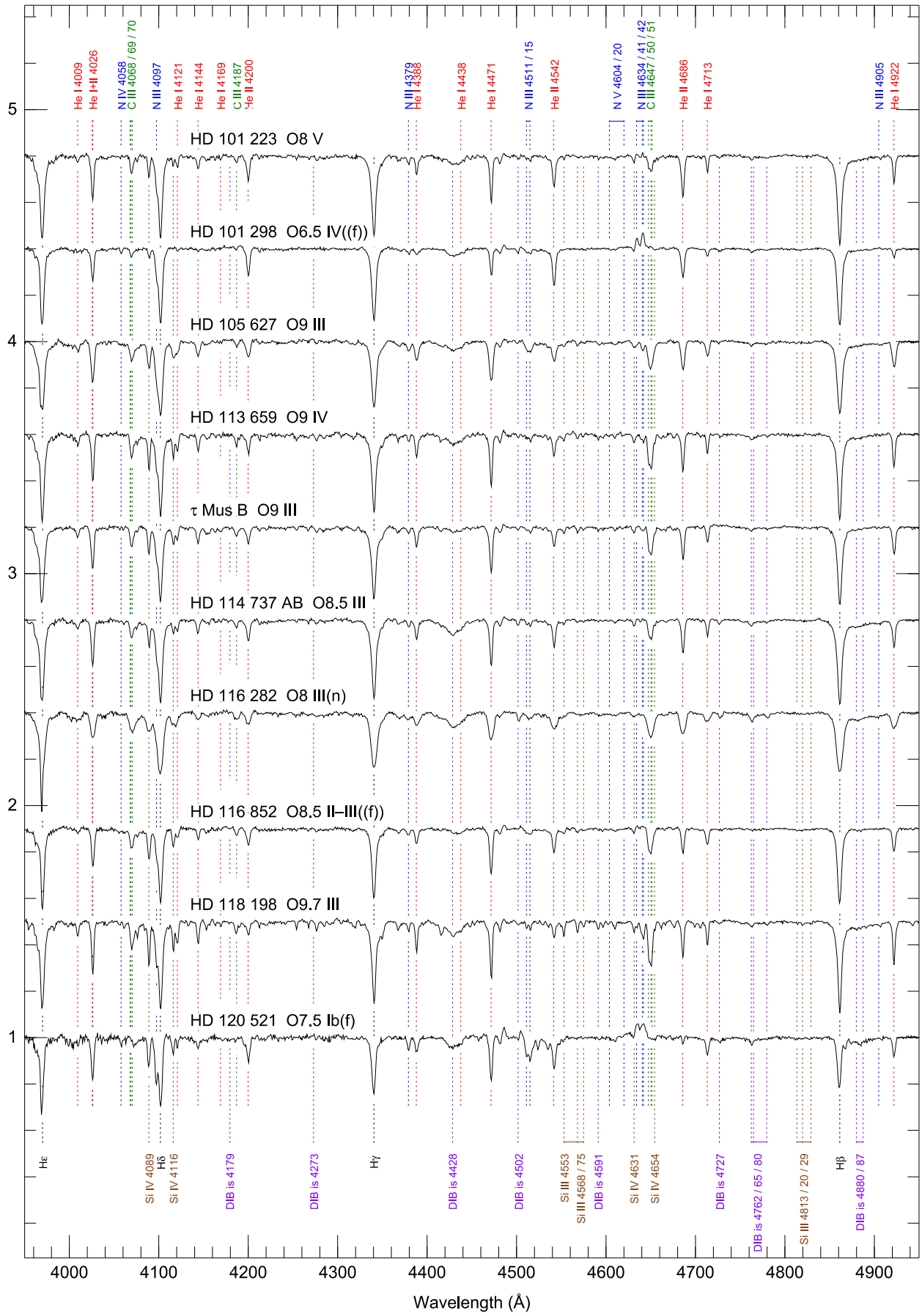


Figura 32. (Continúa).

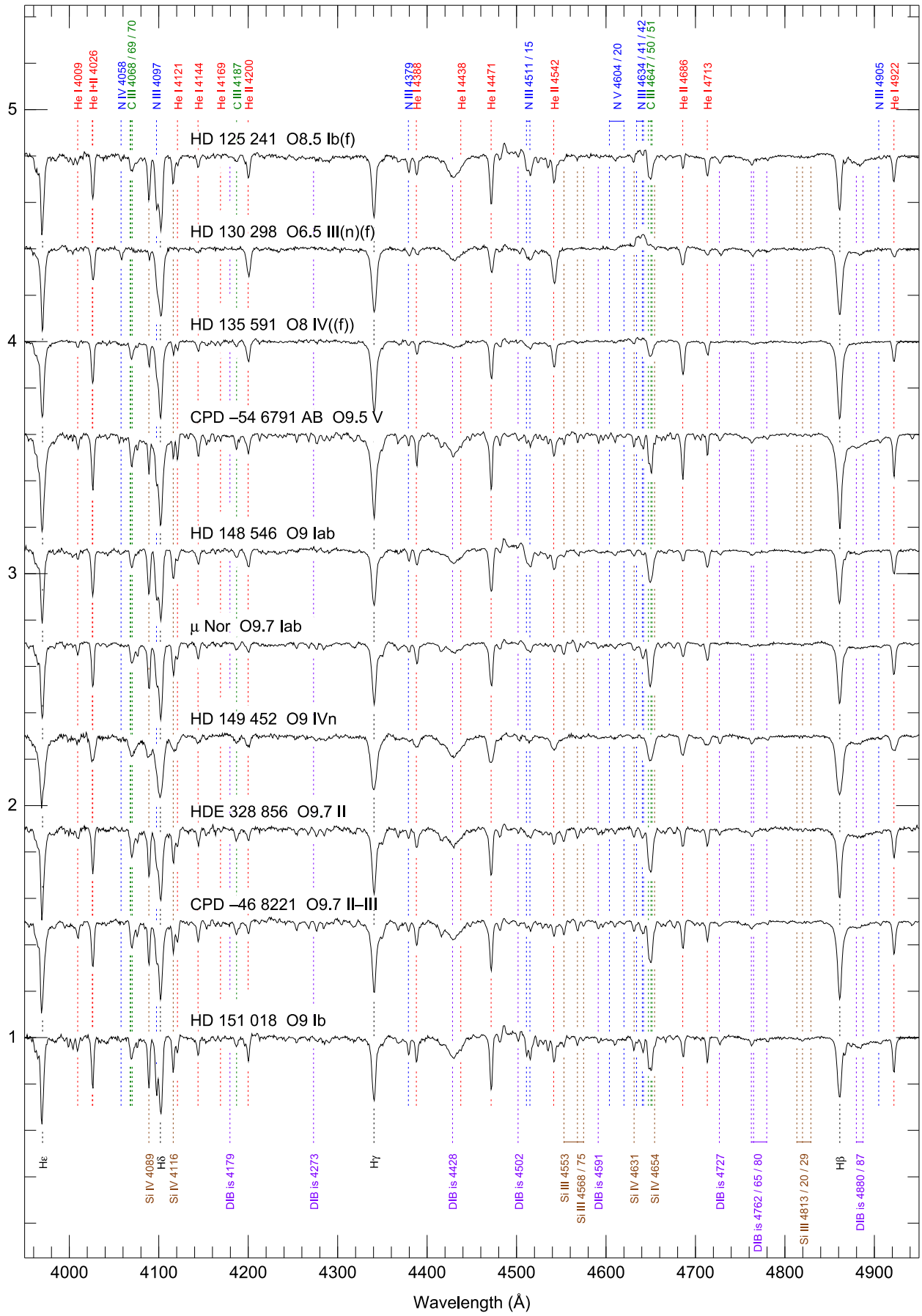


Figura 32. (Continúa).

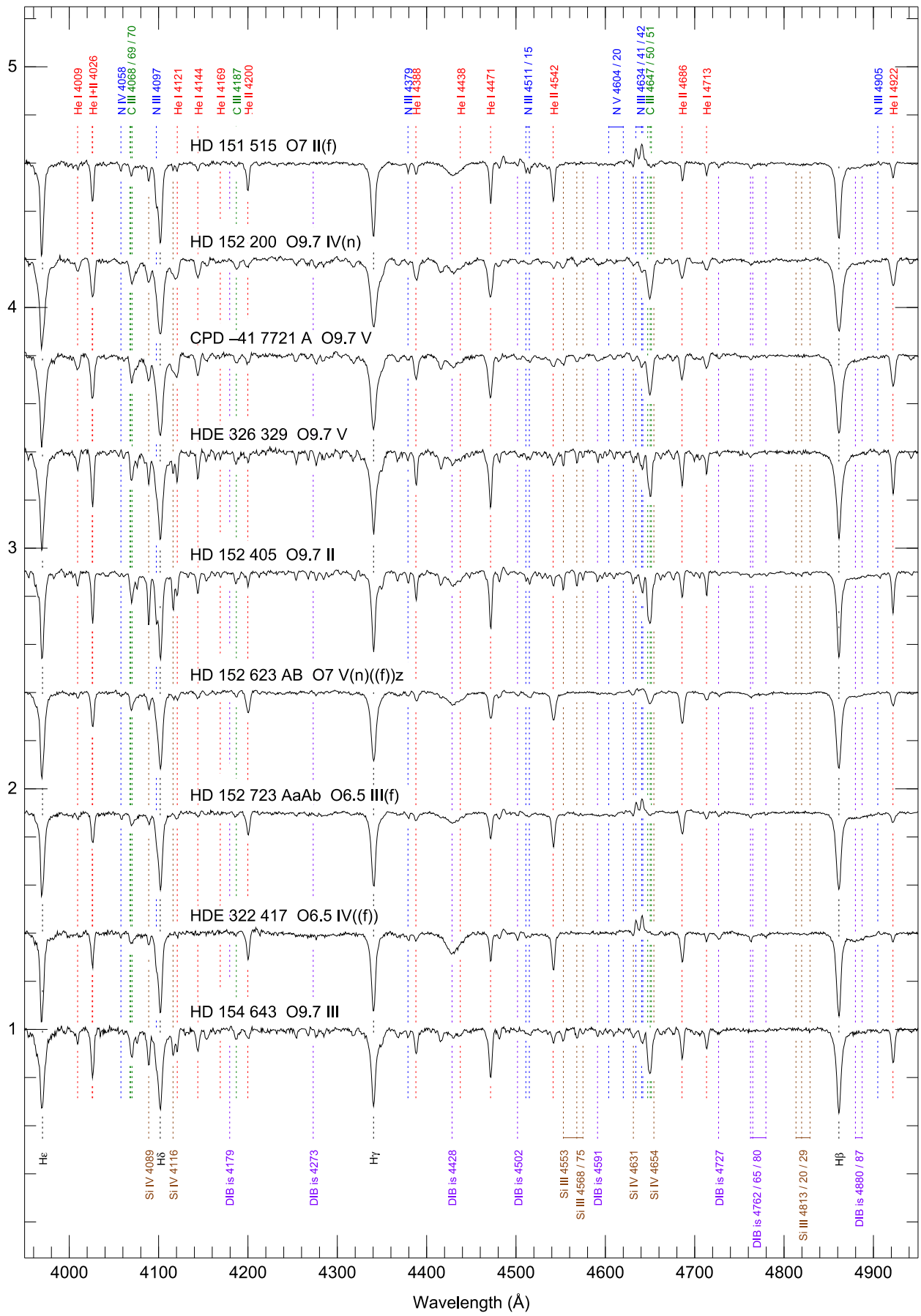


Figura 32. (Continúa).

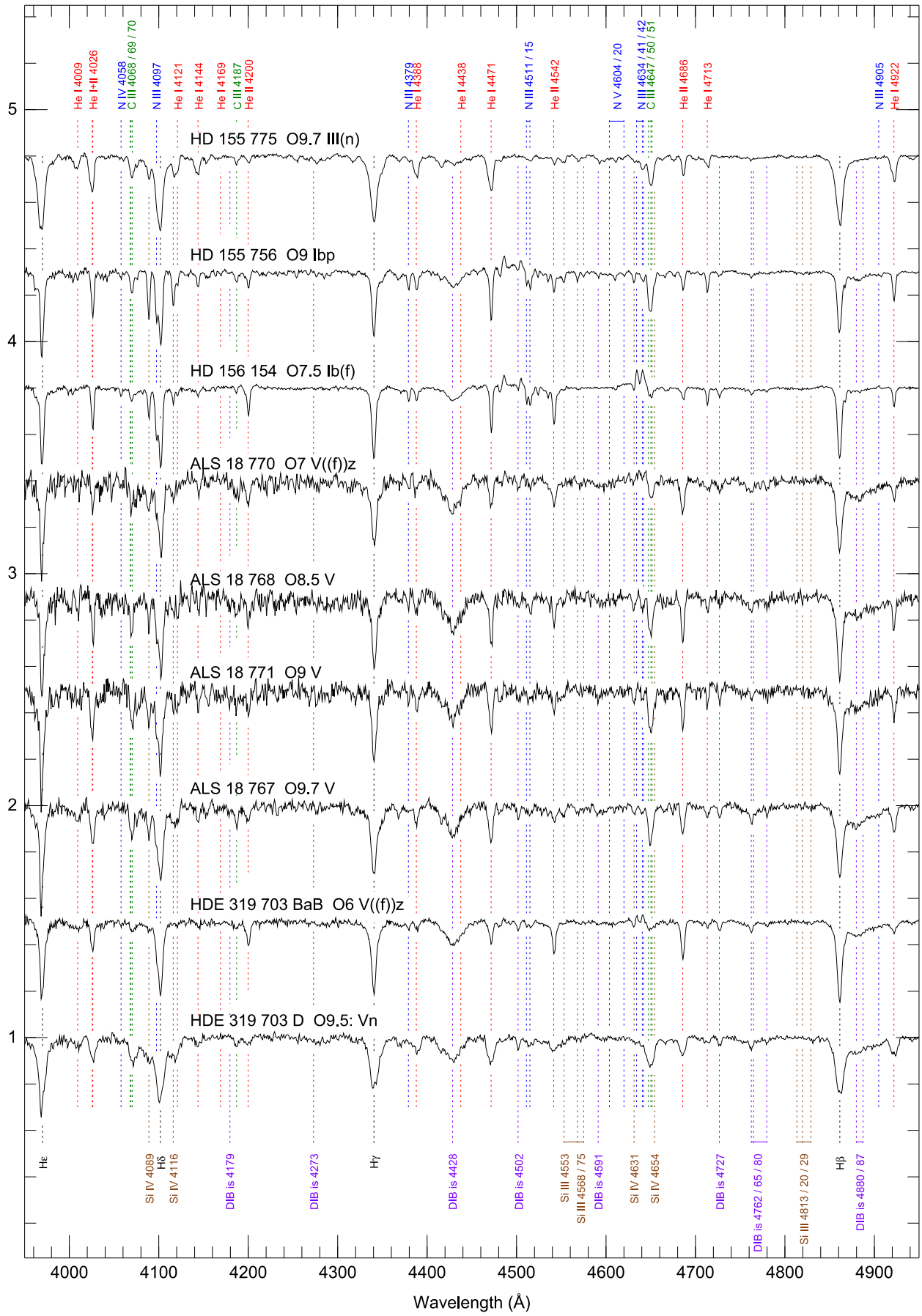


Figura 32. (Continúa).

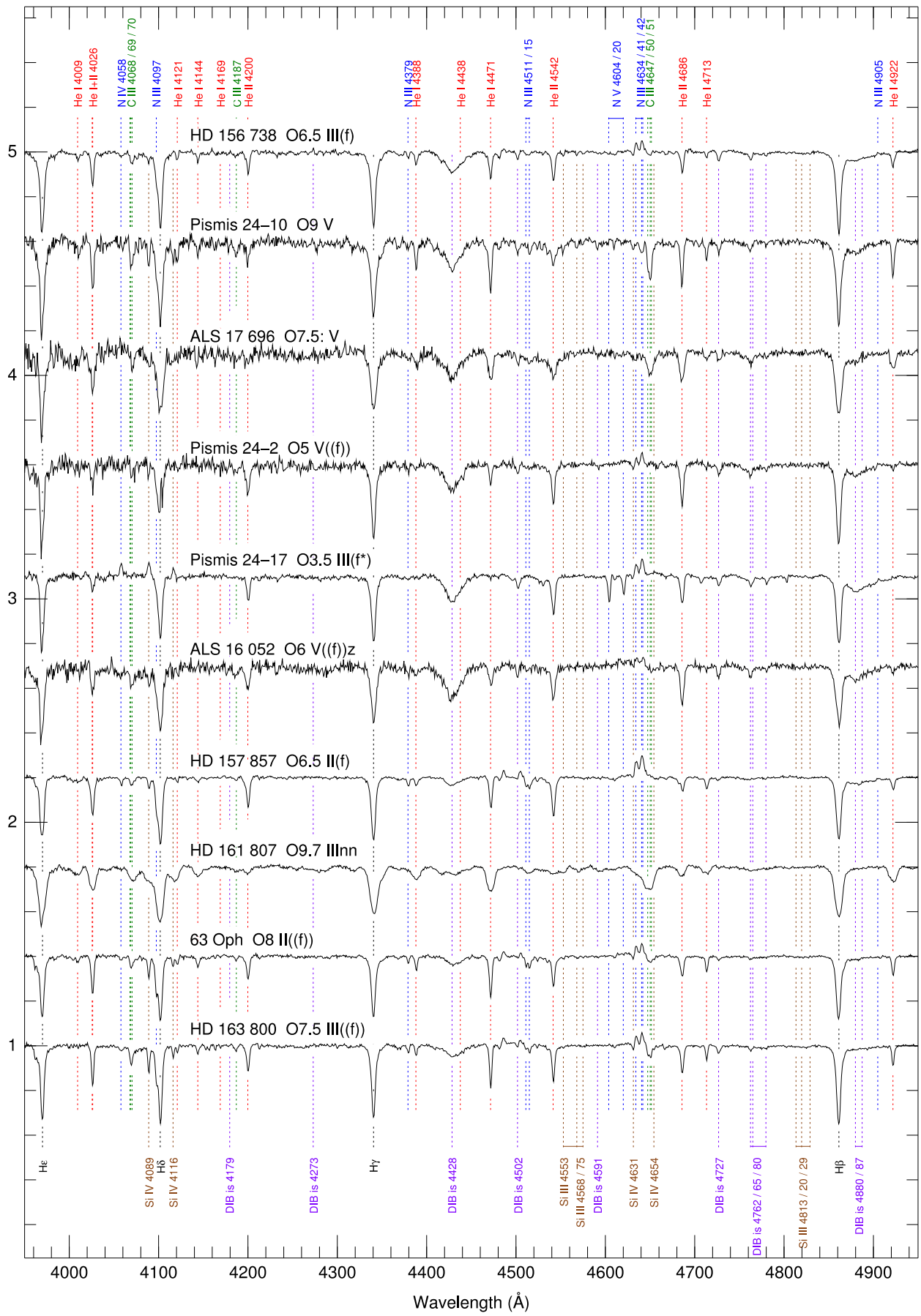


Figura 32. (Continúa).

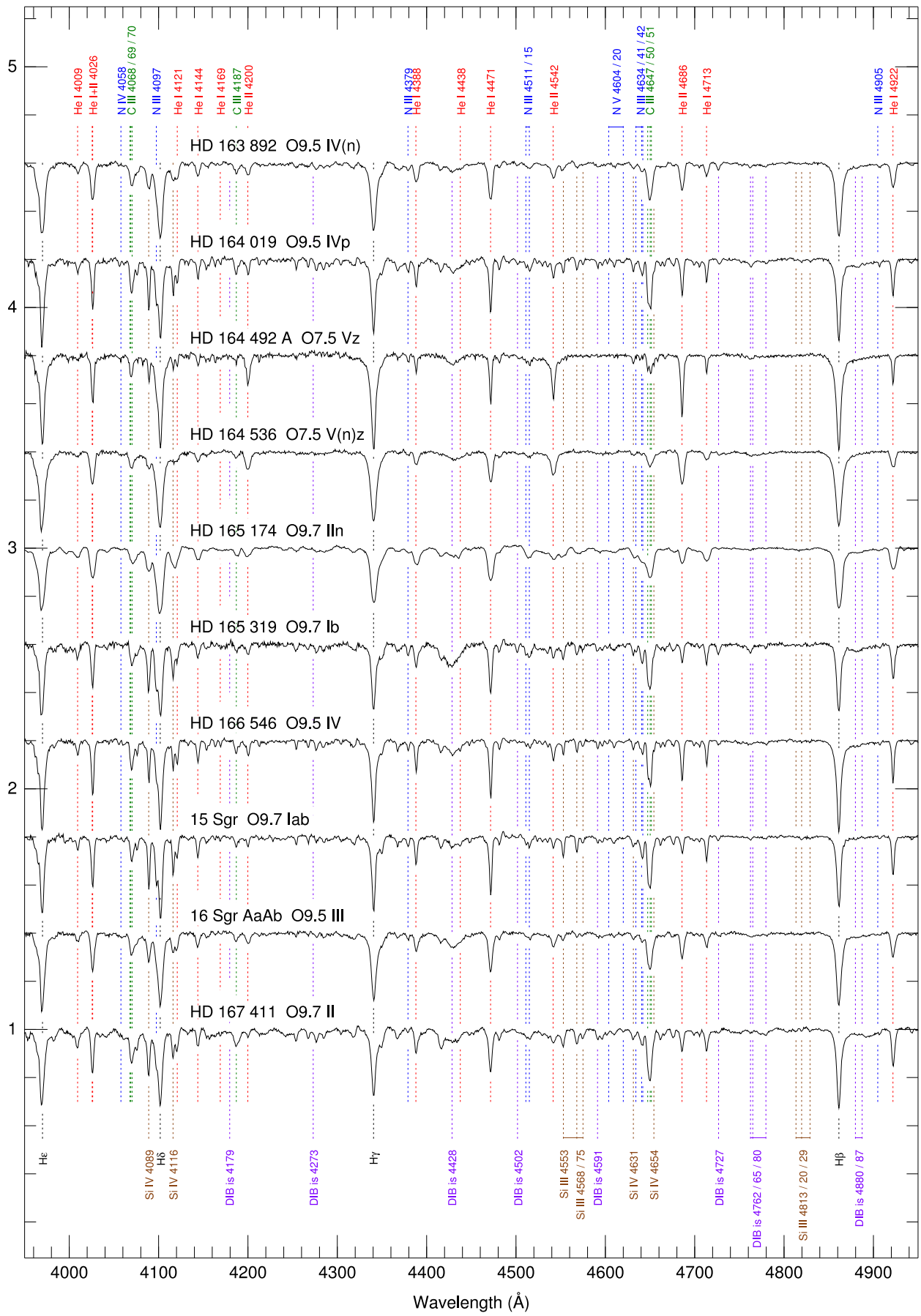


Figura 32. (Continúa).



Figura 32. (Continúa).

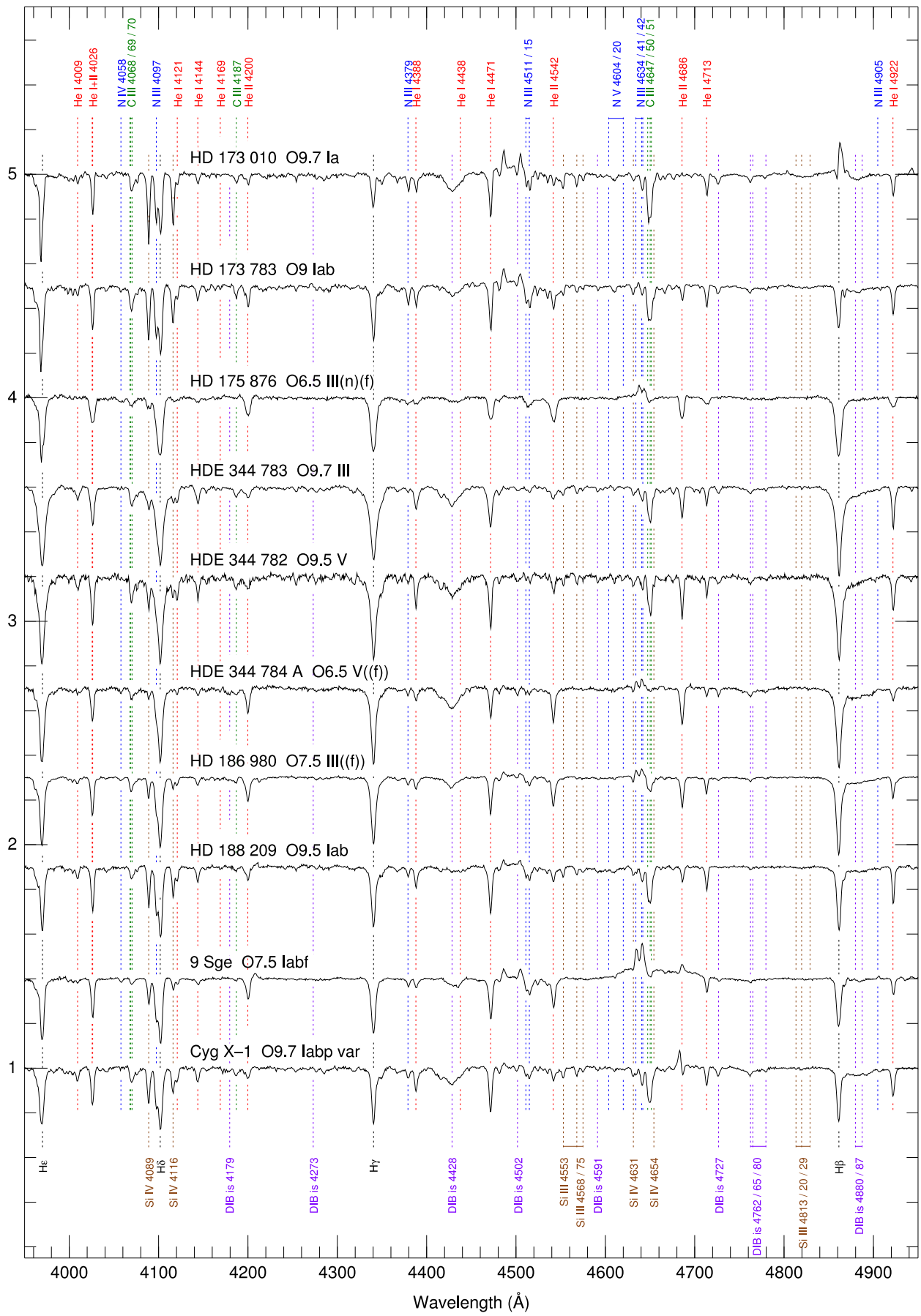


Figura 32. (Continúa).



Figura 32. (Continúa).

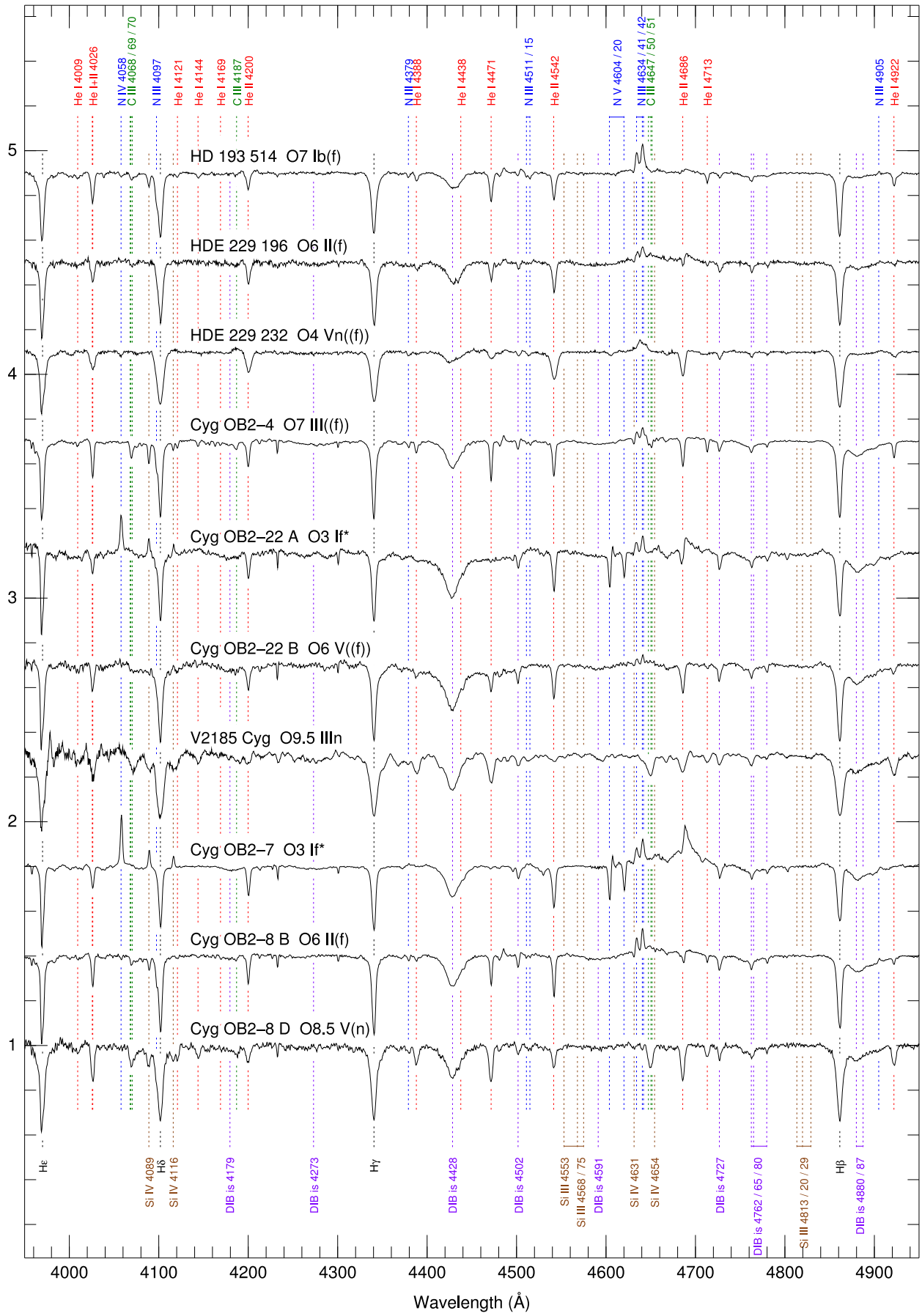


Figura 32. (Continúa).

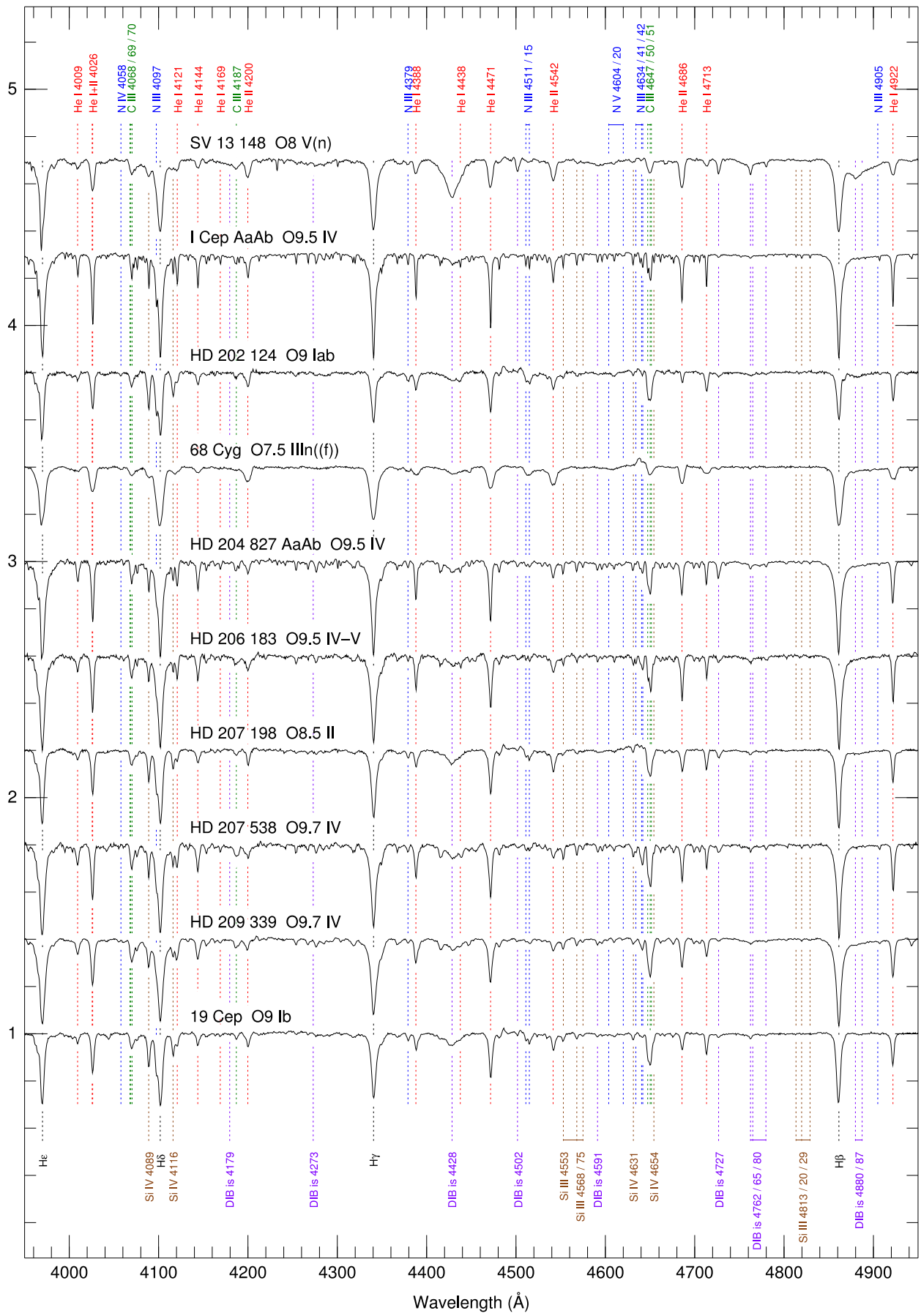


Figura 32. (Continúa).

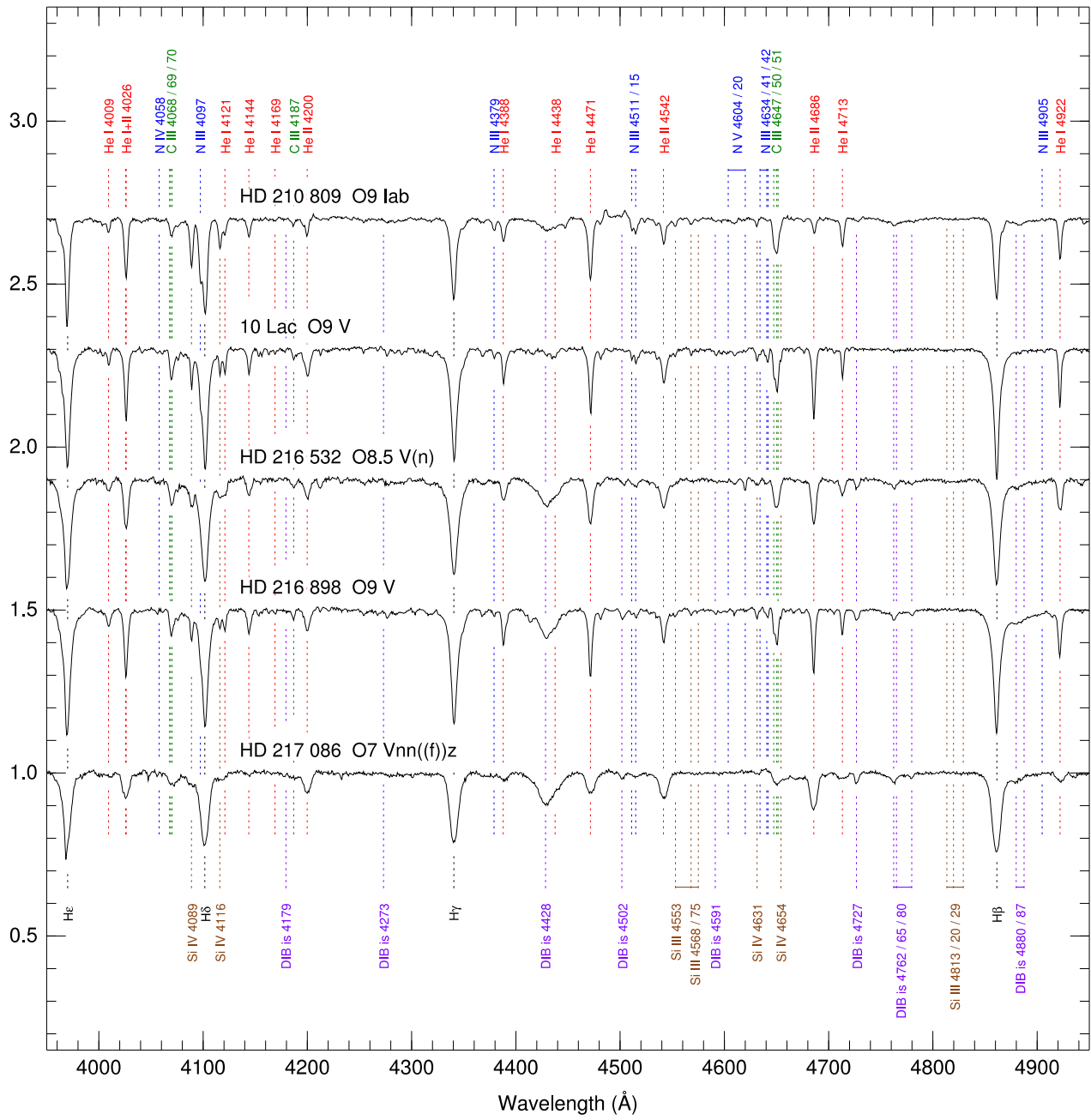


Figura 32. (Continúa).

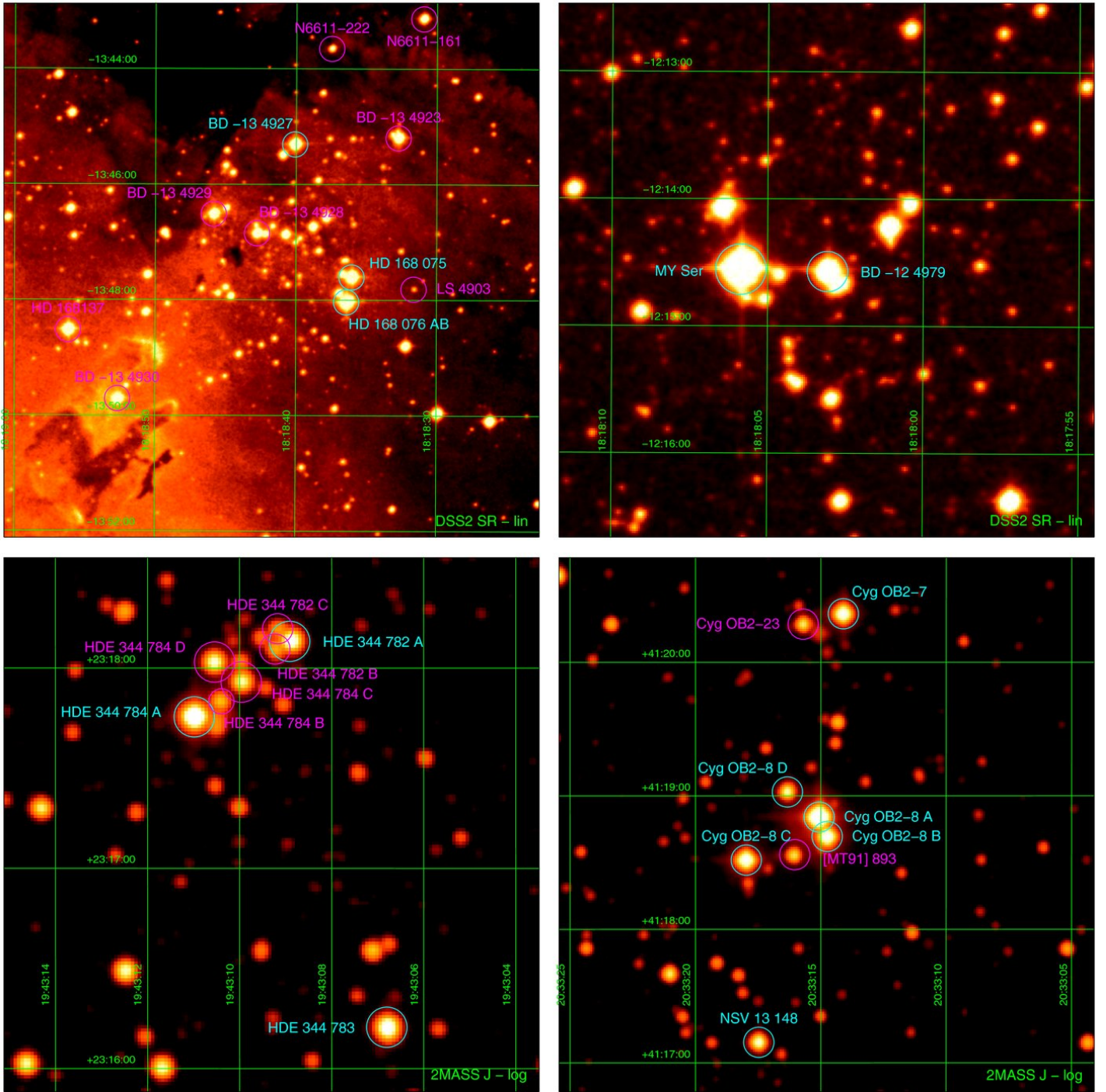


Figura 33. Campos que incluyen estrellas O para las cuales hemos obtenido espectros de buena calidad (marcados en cian o negro). Los objetos en magenta o gris (1) no tienen o solo tienen un espectro de baja S/R, (2) no son estrellas O, y/o (3) se ven como fuentes individuales en la imagen, pero no se pueden separar de una compañera espectroscópica brillante. Los subcampos delimitados con un cuadrado magenta o negro se muestran a mayor resolución espacial en otro panel. La fuente de la imagen y el tipo de escala de intensidad (lineal o logarítmico) se muestran en la esquina inferior derecha de cada panel.

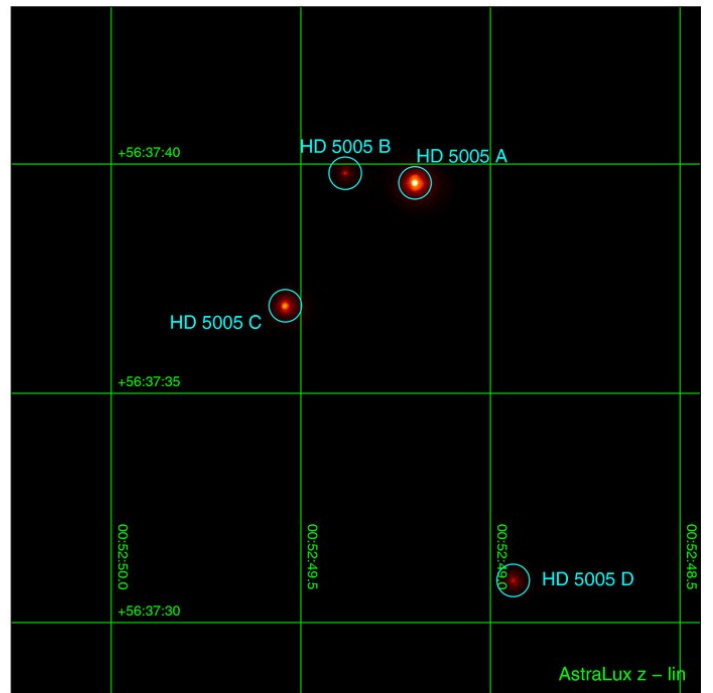
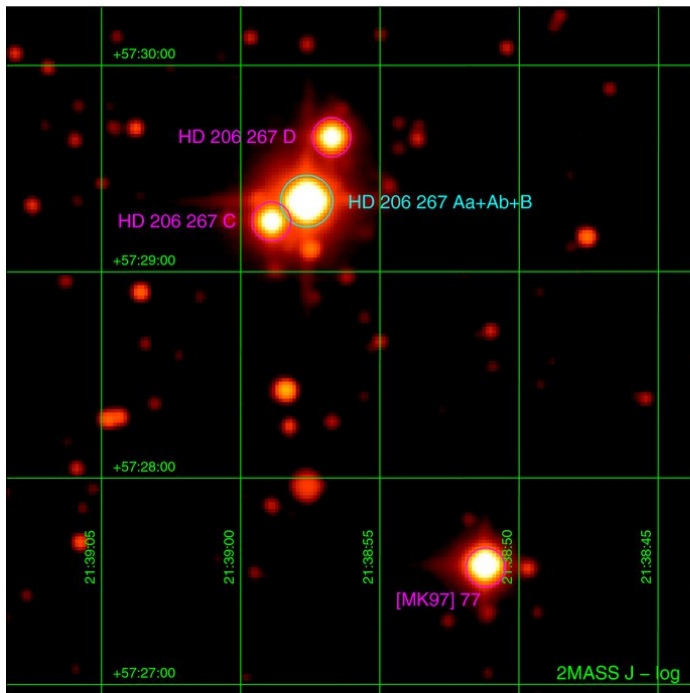
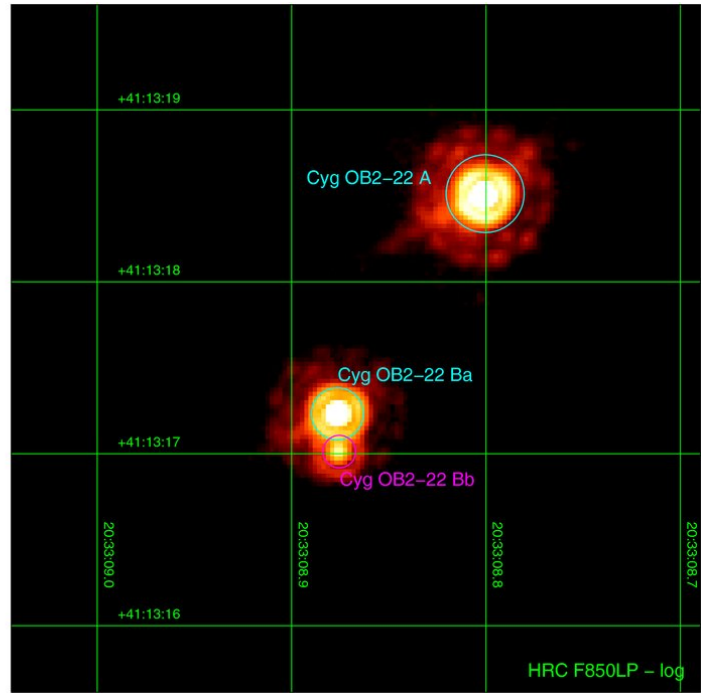
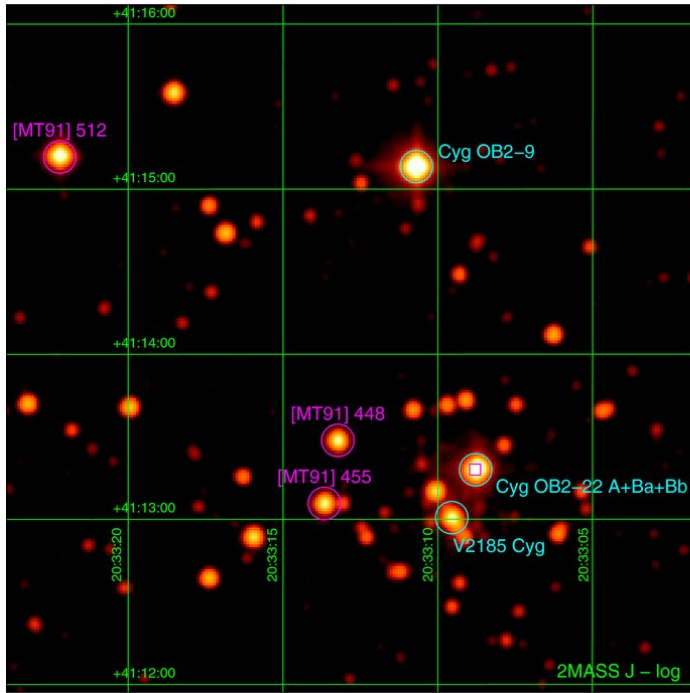


Figura 33. (Continúa).

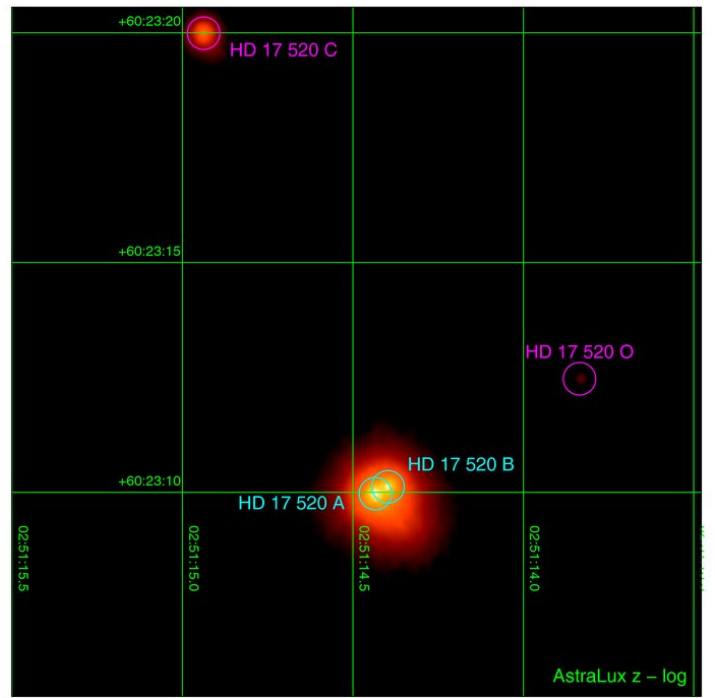
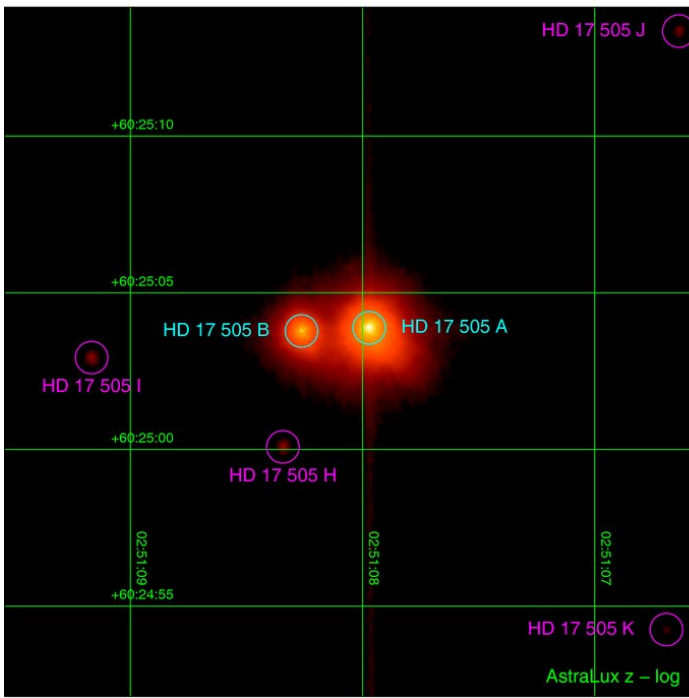
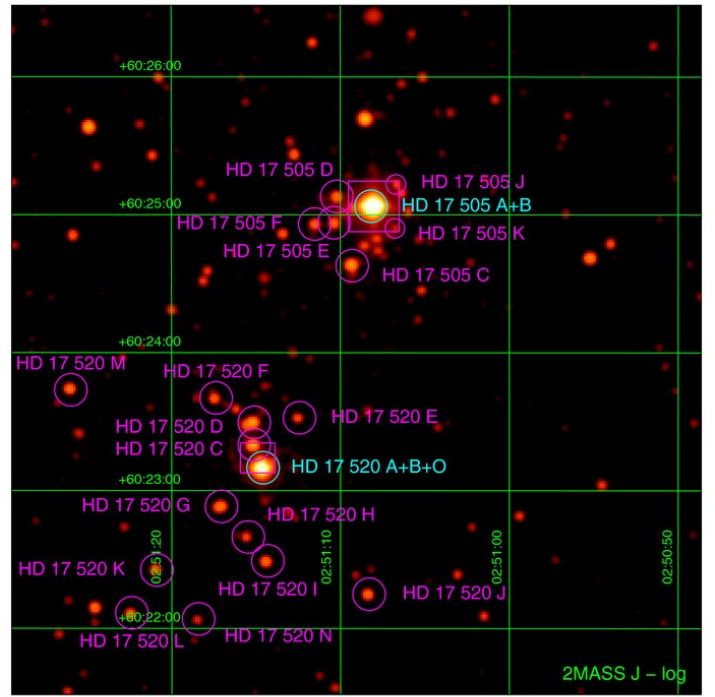
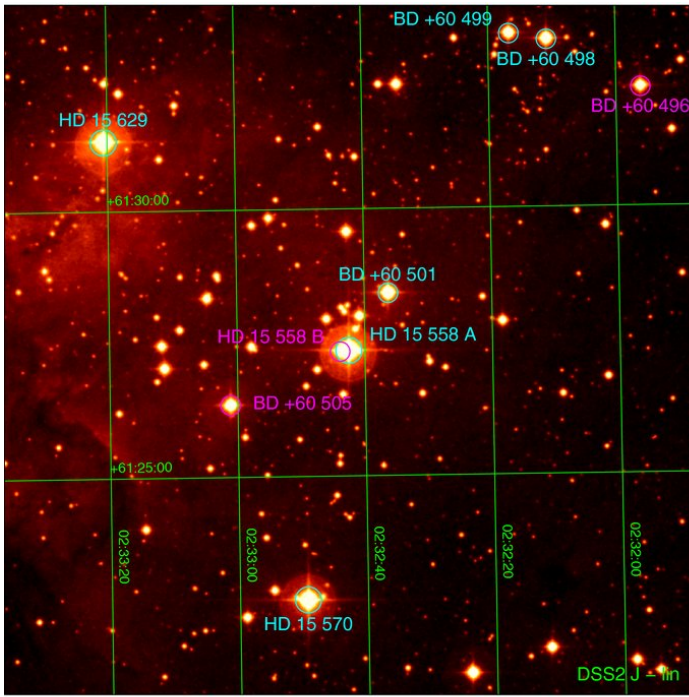


Figura 33. (Continúa).

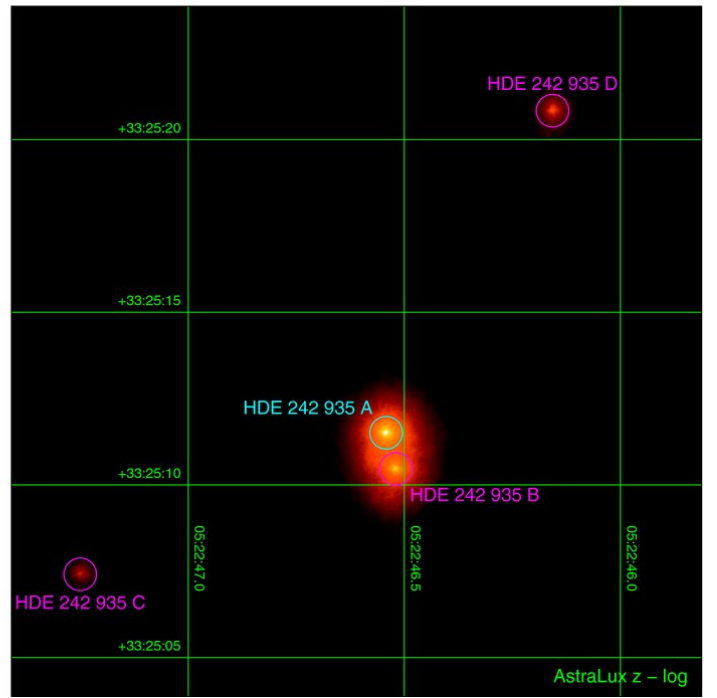
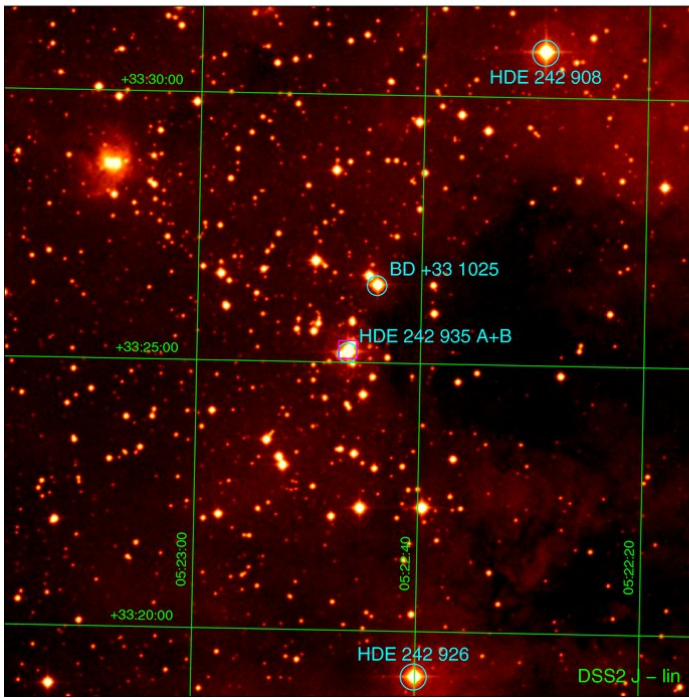
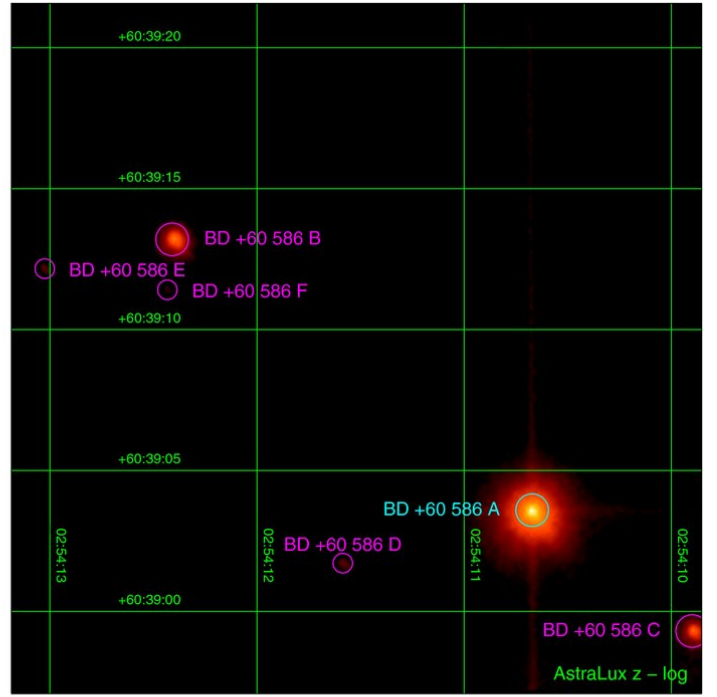
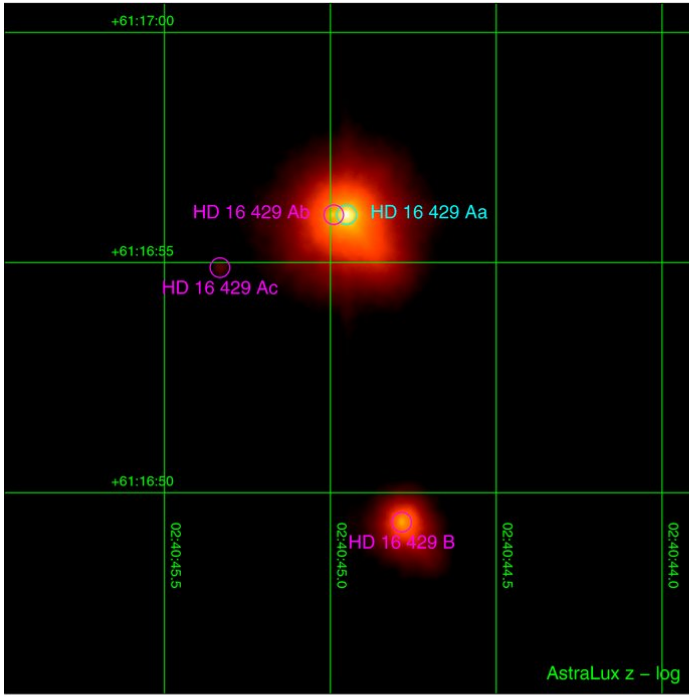


Figura 33. (Continúa).

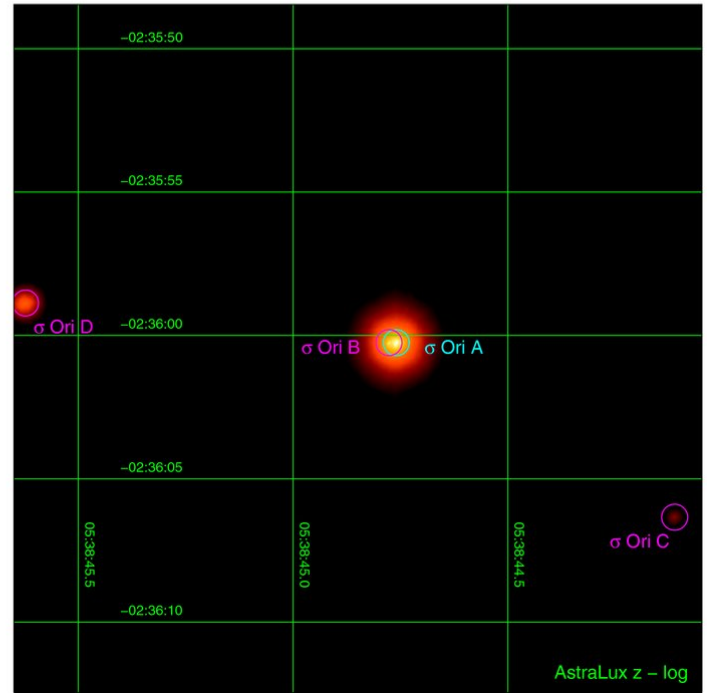
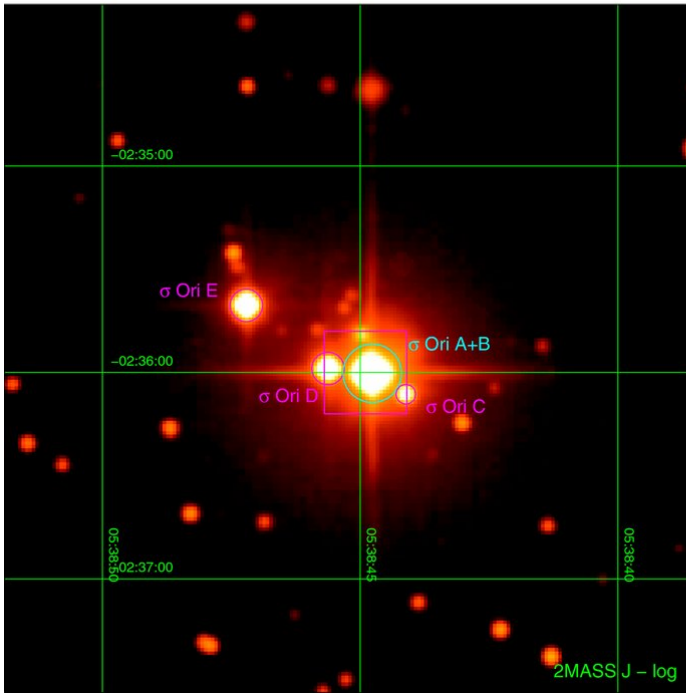
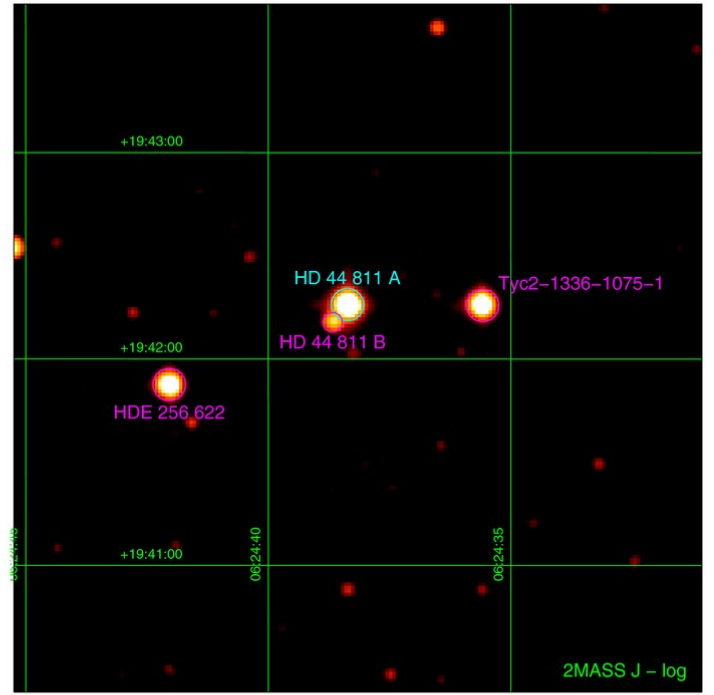
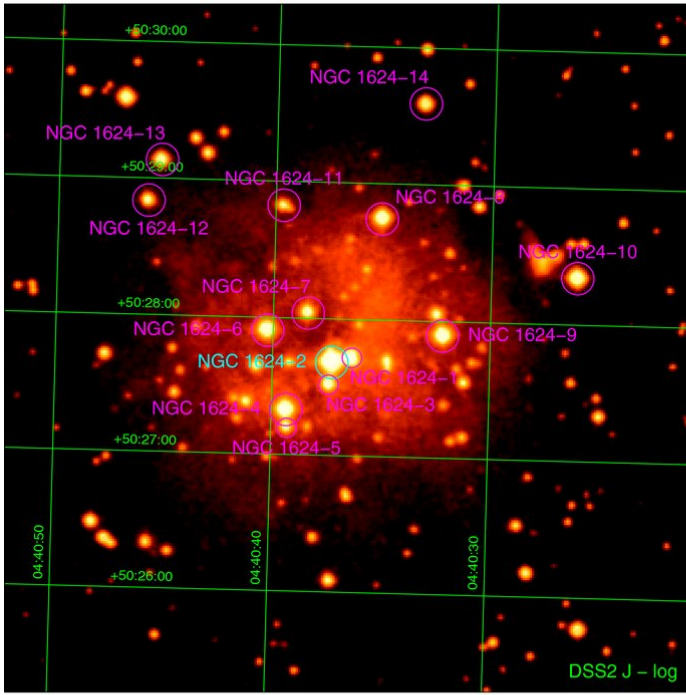


Figura 33. (Continúa).

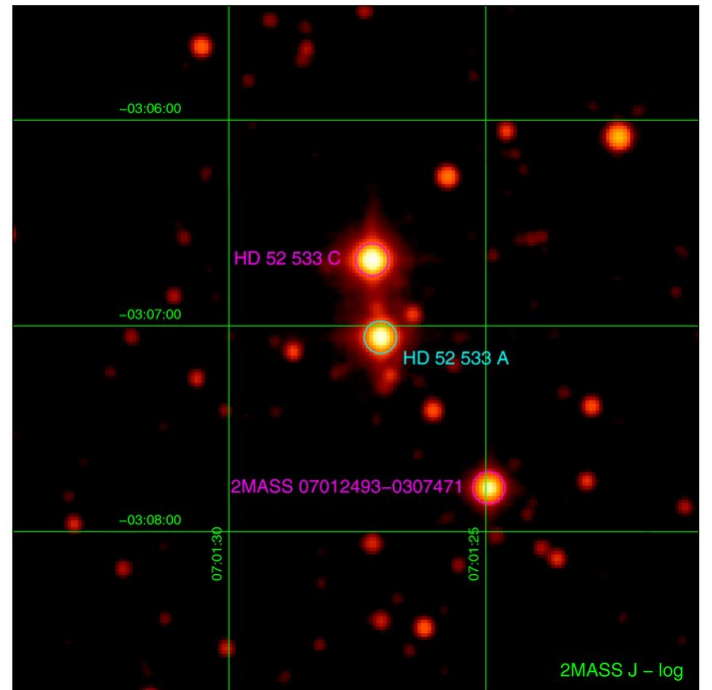
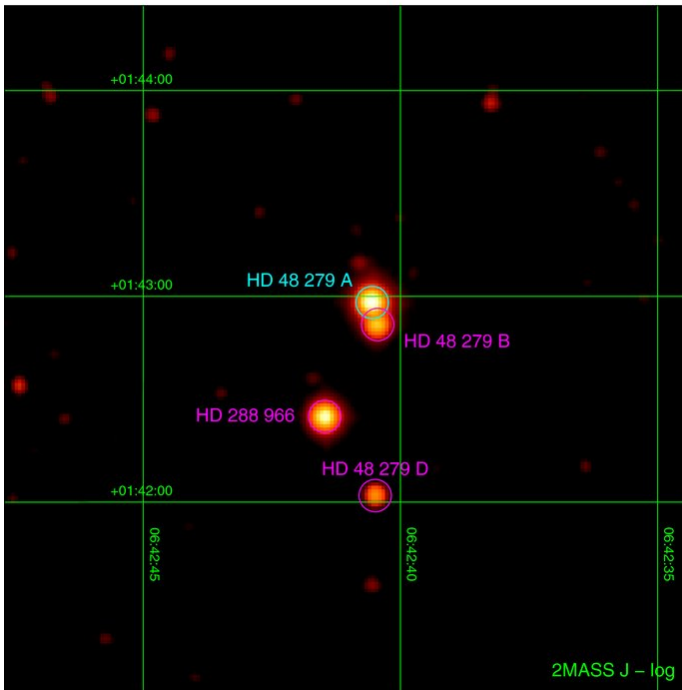
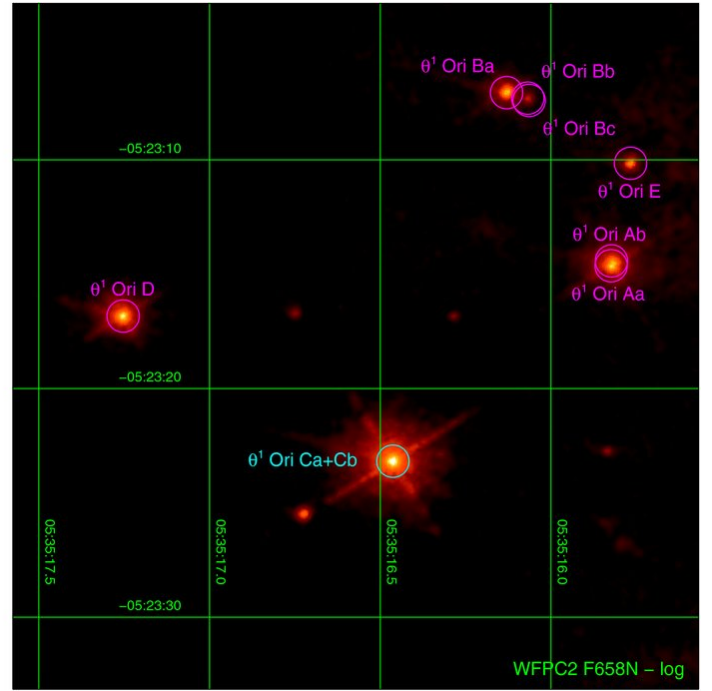
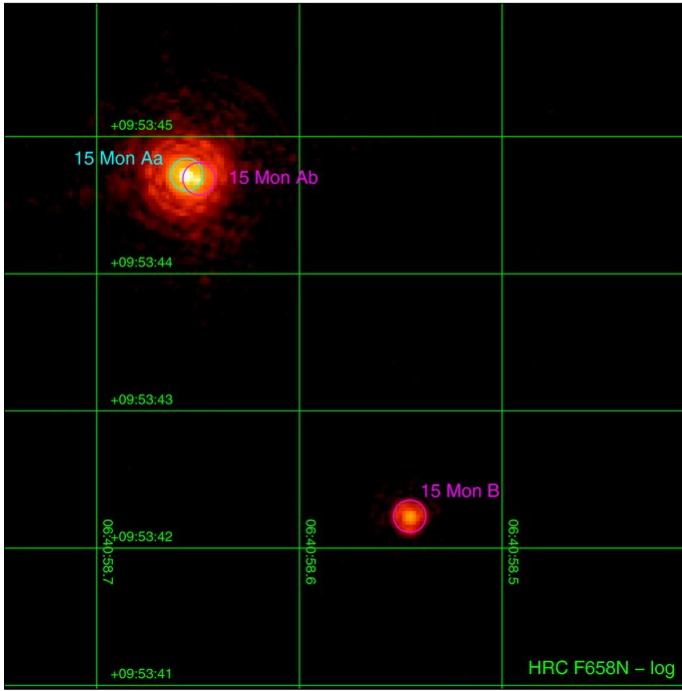
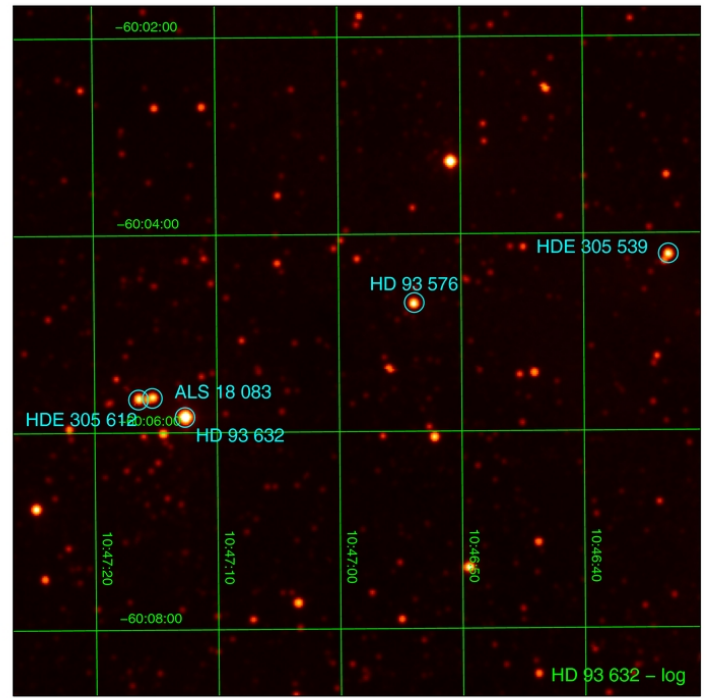
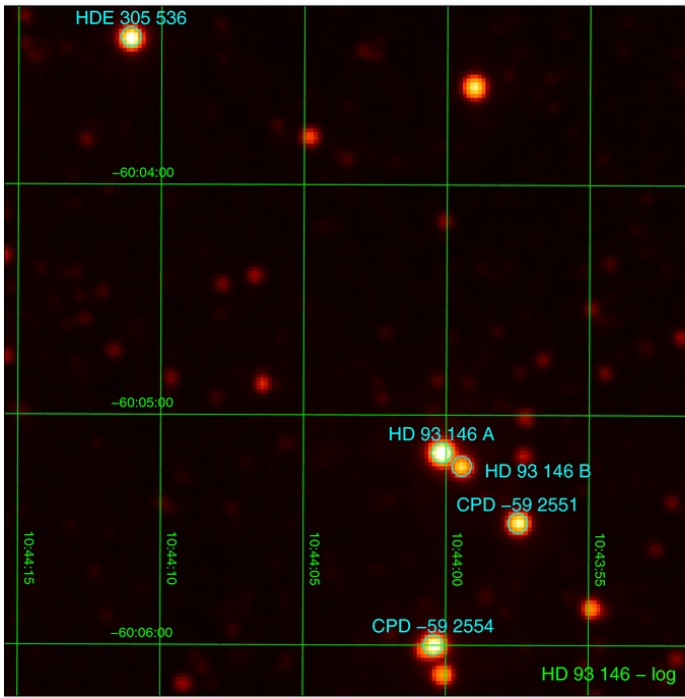
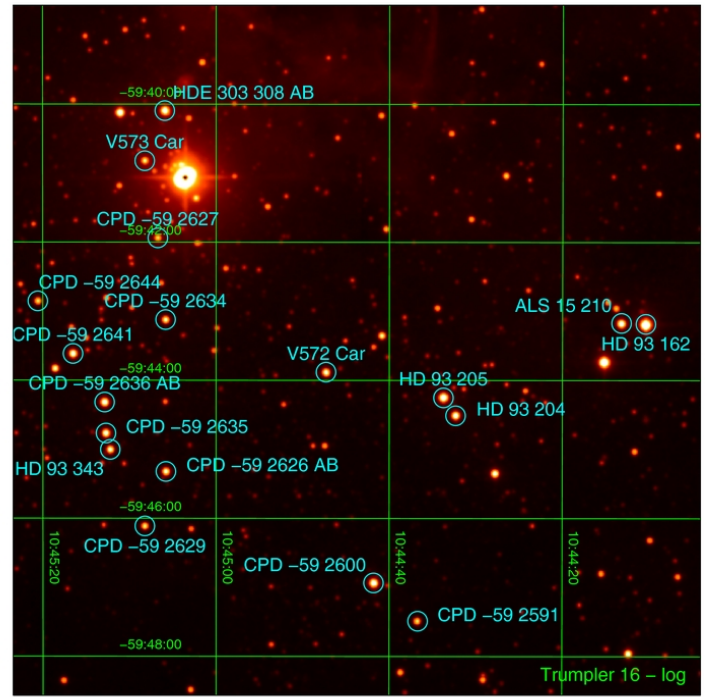
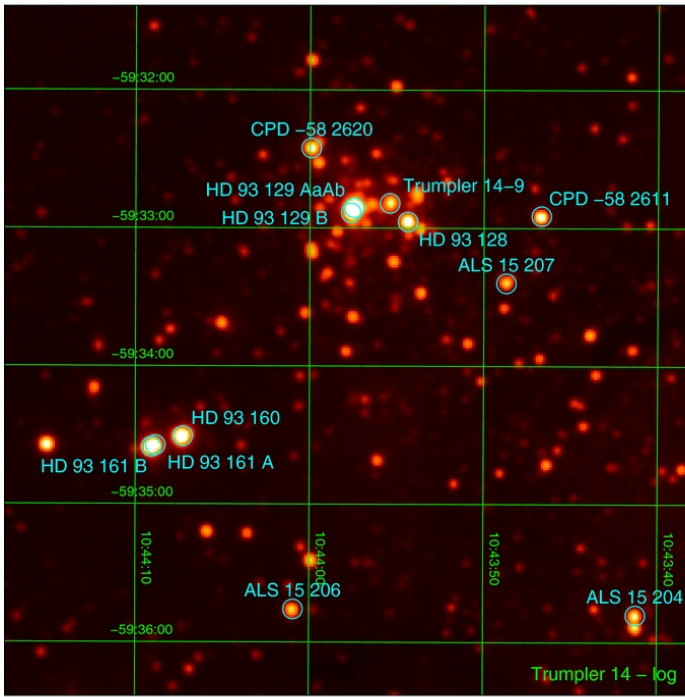
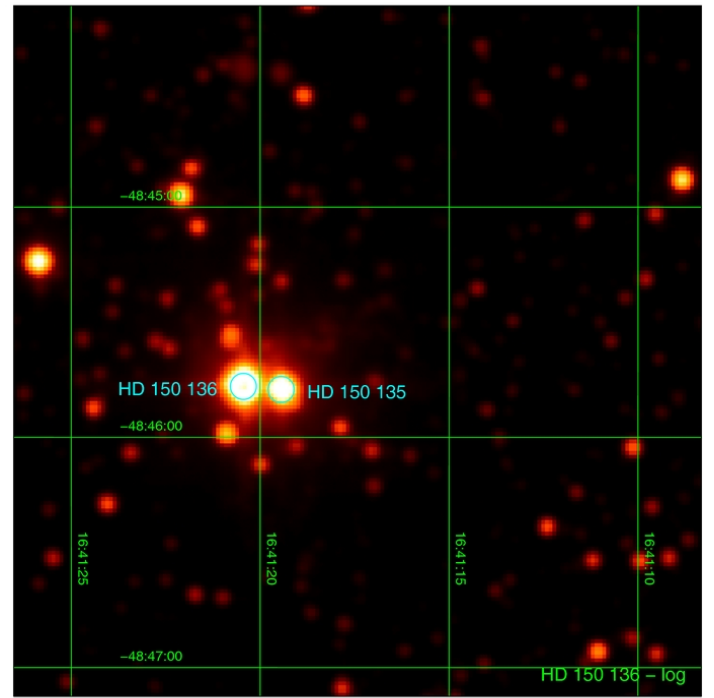
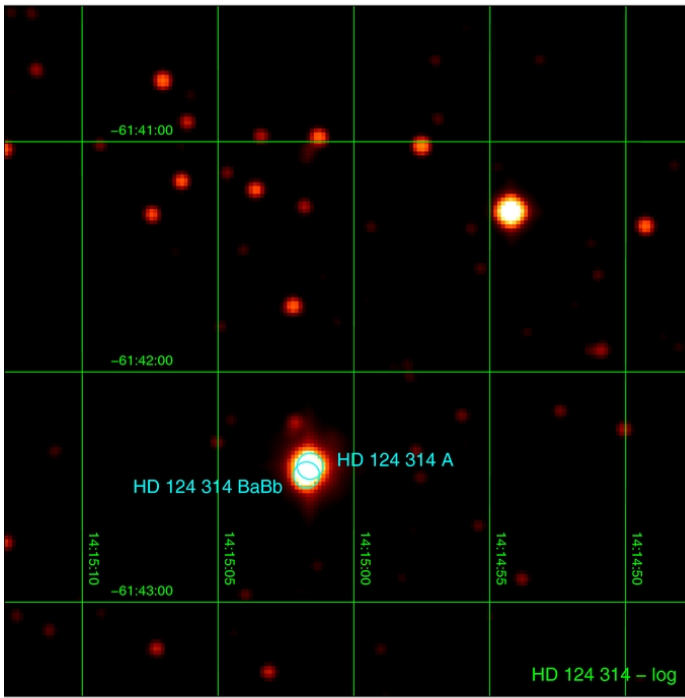
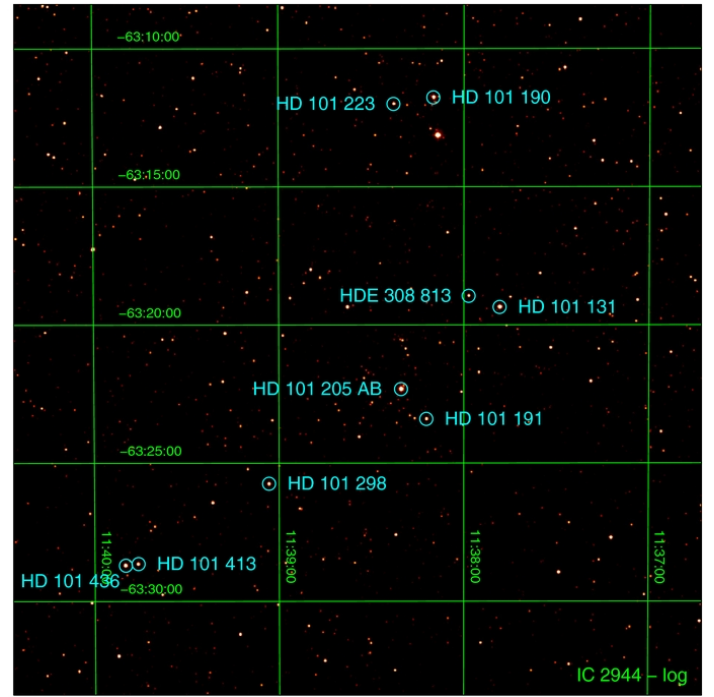
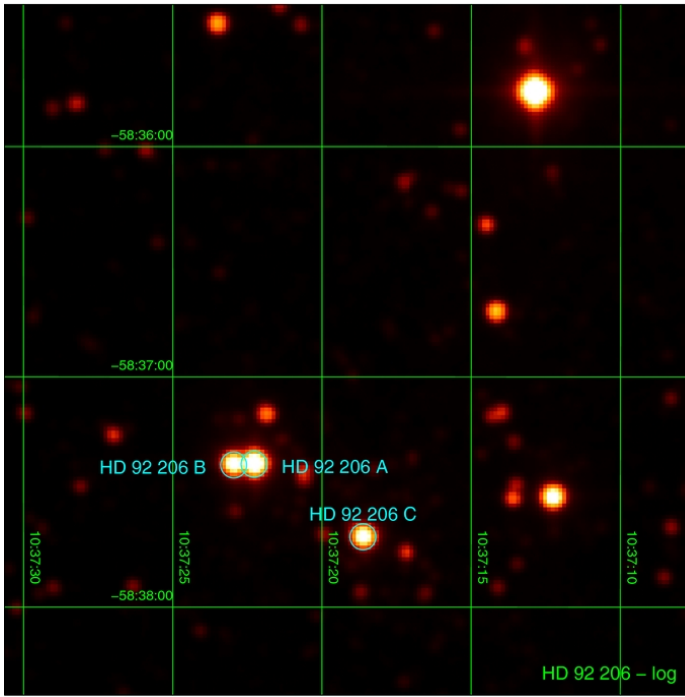


Figura 33. (Continúa).



(a)

Figura 33. (Continúa).



(b)

Figura 33. (Continúa).

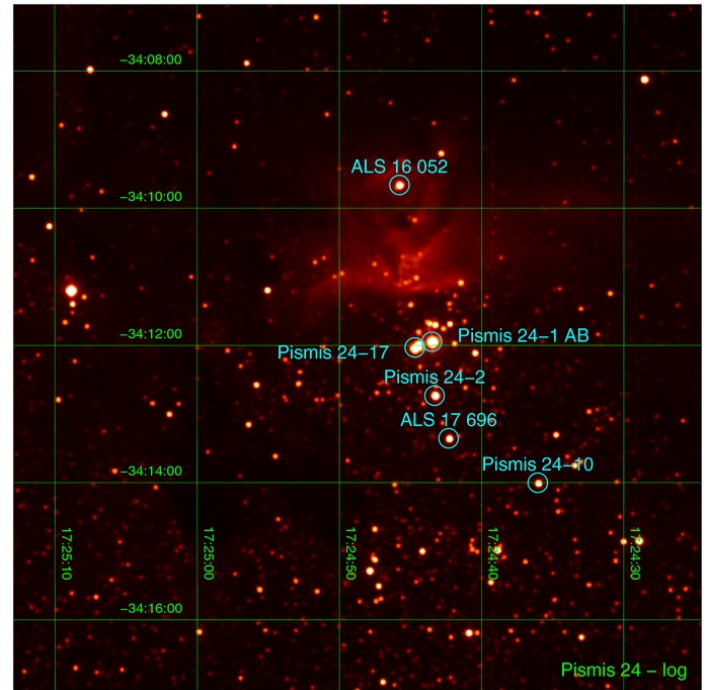
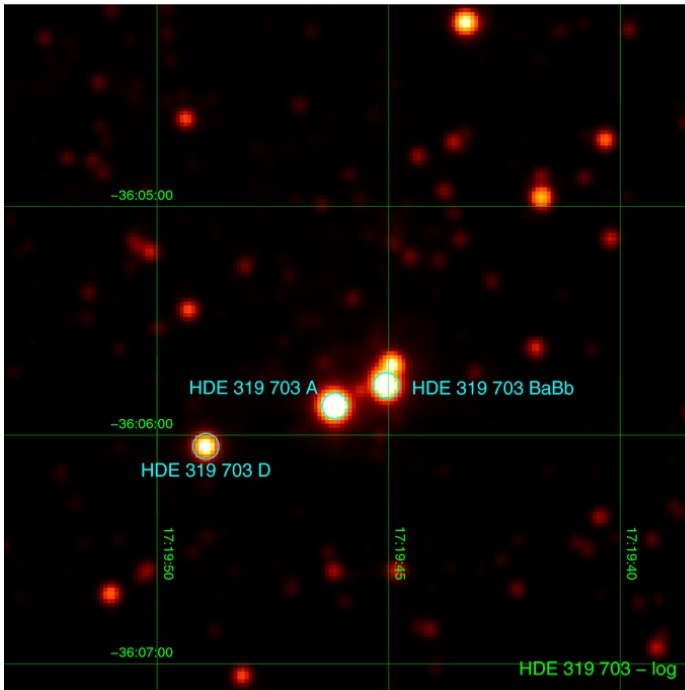
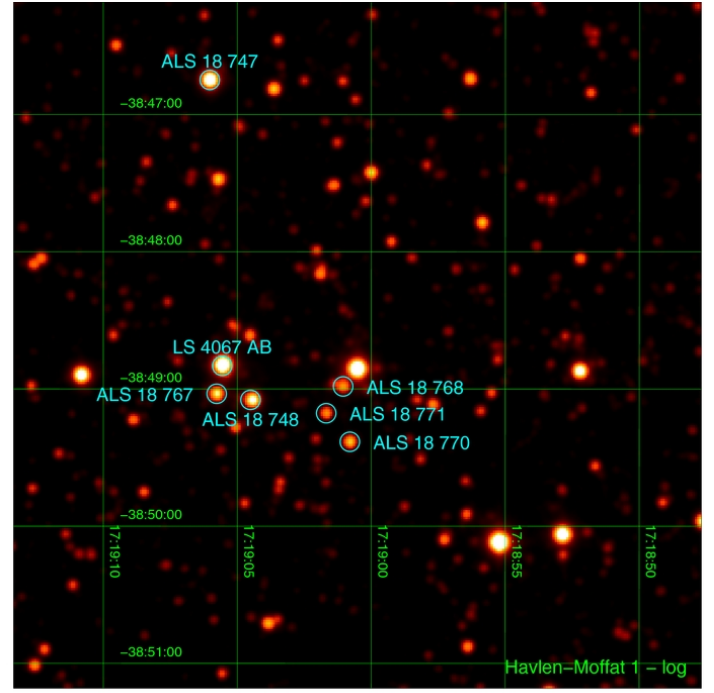
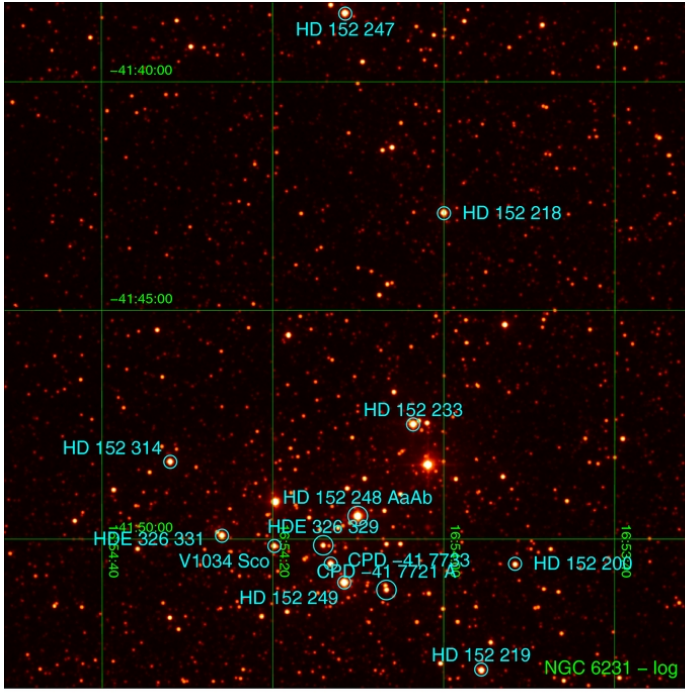


Figura 33. (Continúa).

(c)

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|-------------|---------------------|--------------|--------------|-------|--------|------------|-----------|--|------|-----|------|-----|---------|------|---|
| HD 225 146 | GOS 117.23-01.24_01 | 00:03:57.504 | +61:06:13.07 | O9.7 | Iab | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 225 160 | GOS 117.44-00.14_01 | 00:04:03.796 | +62:13:18.99 | O8 | Iab | f | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 108 | GOS 117.93+01.25_01 | 00:06:03.386 | +63:40:46.75 | O8 | ... | fp var | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.4 | ch | 1 |
| AO Cas | GOS 117.59-11.09_01 | 00:17:43.059 | +51:25:59.12 | O9.2 | II | ... | O8 V((f)) | O9.5 III + O8 V | B91 | ... | SB2E | 1 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 5005 D | GOS 123.12-06.25_01 | 00:52:48.954 | +56:37:30.83 | O9.2 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 0-3 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 5005 A | GOS 123.12-06.24_01 | 00:52:49.206 | +56:37:39.49 | O4 | V | ((fc)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.1 | ch | 1 |
| HD 5005 B | GOS 123.12-06.24_03 | 00:52:49.390 | +56:37:39.71 | O9.7 | II-III | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| HD 5005 C | GOS 123.12-06.24_02 | 00:52:49.550 | +56:37:36.83 | O8.5 | V | (n) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| BD +60 261 | GOS 127.87-01.35_01 | 01:32:32.720 | +61:07:45.84 | O7.5 | III | (n)((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| HD 10 125 | GOS 128.29+01.82_01 | 01:40:52.762 | +64:10:23.13 | O9.7 | II | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| HD 12 323 | GOS 132.91-05.87_01 | 02:02:30.126 | +55:37:26.38 | ON9.2 | V | ... | ... | ... | ... | ... | SB1 | 0 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 12 993 | GOS 133.11-03.40_01 | 02:09:02.473 | +57:55:55.93 | O6.5 | V | ((f)) Nstr | ... | ... | ... | ... | ... | 1-2 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 13 022 | GOS 132.91-02.57_01 | 02:09:30.067 | +58:47:01.58 | O9.7 | II-III | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 13 268 | GOS 133.96-04.99_01 | 02:11:29.700 | +56:09:31.70 | ON8.5 | III | n | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.2 | new | 1 |
| V354 Per | GOS 134.58-04.96_01 | 02:15:45.938 | +55:59:46.73 | O9.7 | II | (n) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 14 434 | GOS 135.08-03.82_01 | 02:21:52.413 | +56:54:18.03 | O5.5 | V | nn((f))p | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.3 | ch | 1 |
| HD 14 442 | GOS 134.21-01.32_01 | 02:22:10.701 | +59:32:58.92 | O5 | ... | n(f)p | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.3 | ... | 1 |
| HD 14 633 | GOS 140.78-18.20_01 | 02:22:54.293 | +41:28:47.72 | ON8.5 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.2 | ch | 1 |
| HD 14 947 | GOS 134.99-01.74_01 | 02:26:46.992 | +58:52:33.11 | O4.5 | I | f | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 15 137 | GOS 137.46-07.58_01 | 02:27:59.811 | +52:32:57.60 | O9.5 | II-III | n | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| BD +60 497 | GOS 134.58+01.04_01 | 02:31:57.087 | +61:36:43.95 | O6.5 | V | ((f)) | O8/Bo V | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| BD +60 498 | GOS 134.63+00.99_01 | 02:32:10.855 | +61:33:07.95 | O9.7 | II-III | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| BD +60 499 | GOS 134.64+01.00_01 | 02:32:16.752 | +61:33:15.07 | O9.5 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| BD +60 501 | GOS 134.71+00.94_01 | 02:32:36.272 | +61:28:25.60 | O7 | V | (n)((f))z | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 15 558 A | GOS 134.72+00.92_01 | 02:32:42.536 | +61:27:21.56 | O4.5 | III | (f) | ... | O5.5 III(f) + O7 V | Do6 | ... | SB2 | 2-5 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 15 570 | GOS 134.77+00.86_01 | 02:32:49.422 | +61:22:42.07 | O4 | I | f | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 15 642 | GOS 137.09-04.73_01 | 02:32:56.383 | +55:19:39.07 | O9.5 | II-III | n | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 15 629 | GOS 134.77+01.01_01 | 02:33:20.586 | +61:31:18.18 | O4.5 | V | ((fc)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.1 | ch | 1 |
| BD +60 513 | GOS 134.90+00.92_01 | 02:34:02.530 | +61:23:10.87 | O7 | V | nz | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| BD +62 424 | GOS 134.53+02.46_01 | 02:36:18.221 | +62:56:53.35 | O6.5 | V | (n)((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 16 429 A | GOS 135.68+01.15_01 | 02:40:44.951 | +61:16:56.04 | O9 | II-III | (n) Nwk | ... | O9.5 II+O8 III-IV + Bo V? | Mo3 | ... | SB3 | 2-3 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 16 691 | GOS 137.73-02.73_01 | 02:42:52.028 | +56:54:16.45 | O4 | I | f | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 16 832 | GOS 138.00-02.88_01 | 02:44:12.717 | +56:39:27.23 | O9.2 | III | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 1 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 17 505 A | GOS 137.19+00.90_01 | 02:51:07.971 | +60:25:03.88 | O6.5 | III | n(f) | ... | O6.5 III((f))+ O7.5 V((f)) + O7.5 V((f)) | Ho6 | ... | SB3 | 2-3 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 17 505 B | GOS 137.19+00.90_02 | 02:51:08.263 | +60:25:03.78 | O8 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| HD 17 520 B | GOS 137.22+00.88_02 | 02:51:14.397 | +60:23:10.12 | O9: | V | e | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.5 | new | 1 |
| HD 17 520 A | GOS 137.22+00.88_01 | 02:51:14.434 | +60:23:09.97 | O8 | V | z | ... | ... | ... | ... | SB1 | 1-3 | 4.3.3 | ch | 2 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|-------------------------|---------------------|--------------|--------------|-------|--------|------------|----------|--------------------------|------|-----|------|-----|---------|------|---|
| HD 17 603 | GOS 138.77-02.08_01 | 02:51:47.798 | +57:02:54.46 | O7.5 | Ib | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| BD +60 586 A | GOS 137.42+01.28_01 | 02:54:10.672 | +60:39:03.59 | O7 | V | z | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 18 326 | GOS 138.03+01.50_01 | 02:59:23.171 | +60:33:59.50 | O6.5 | V | ((f))z | O9/Bo V: | ... | ... | ... | SB2 | 1-4 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 18 409 | GOS 137.12+03.46_01 | 03:00:29.719 | +62:43:19.05 | O9.7 | Ib | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| CC Cas | GOS 140.12+01.54_01 | 03:14:05.333 | +59:33:48.50 | O8.5 | III | (n)((f)) | ... | O8.5 III + Bo V | H94 | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| X Per | GOS 163.08-17.14_01 | 03:55:23.078 | +31:02:45.04 | O9.5: | ... | npe | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.5 | ch | 1 |
| HD 24 431 | GOS 148.84-00.71_01 | 03:55:38.420 | +52:38:28.75 | O9 | III | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| ξ Per | GOS 160.37-13.11_01 | 03:58:57.900 | +35:47:27.72 | O7.5 | III | (n)((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| HDE 237 211 | GOS 147.14+02.97_01 | 04:03:15.652 | +56:32:24.85 | O9 | Ib | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| 1 Cam A | GOS 151.91+03.95_01 | 04:32:01.845 | +53:54:39.03 | O9.7 | II | n | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| NGC 1624-2 | GOS 155.36+02.61_01 | 04:40:37.266 | +50:27:40.96 | O7 | ... | f?cp | ... | ... | ... | ... | ... | 0-5 | 4.3.2.4 | ch | 2 |
| α Cam | GOS 144.07+14.04_01 | 04:54:03.011 | +66:20:33.58 | O9 | Ia | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| AE Aur | GOS 172.08-02.26_01 | 05:16:18.149 | +34:18:44.34 | O9.5 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| HD 34 656 | GOS 170.04+00.27_01 | 05:20:43.080 | +37:26:19.23 | O7.5 | II | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HDE 242 908 | GOS 173.47-01.66_01 | 05:22:29.302 | +33:30:50.43 | O4.5 | V | (n)((fc))z | ... | ... | ... | ... | SB2? | 0 | 4.3.2.1 | ch | 2 |
| HDE 242 926 | GOS 173.65-01.74_01 | 05:22:40.099 | +33:19:09.37 | O7 | V | z | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| BD +33 1025 A | GOS 173.56-01.66_01 | 05:22:44.001 | +33:26:26.65 | O7.5 | V | (n)z | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HDE 242 935 A | GOS 173.58-01.67_01 | 05:22:46.539 | +33:25:11.28 | O6.5 | V | ((f))z | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 35 619 | GOS 173.04-00.09_01 | 05:27:36.146 | +34:45:18.97 | O7.5 | V | ((f))z | ... | ... | ... | ... | ... | 1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| LY Aur A | GOS 172.76+00.61_01 | 05:29:42.647 | +35:22:30.07 | O9.5 | II | ... | O9 III | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| υ Ori | GOS 210.44-20.99_01 | 05:31:55.860 | -07:18:05.53 | O9.7 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| δ Ori AaAb | GOS 203.86-17.74_01 | 05:32:00.401 | -00:17:56.73 | O9.5 | II | Nwk | ... | O9.5 II + Bo.5 III | Ho2 | ... | ... | ... | 4.3.2.2 | ch | 1 |
| BD +39 1328 | GOS 169.11+03.60_01 | 05:32:13.845 | +40:03:57.88 | O8.5 | Iab | (n)(f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 36 483 | GOS 172.29+01.88_01 | 05:33:41.154 | +36:27:34.97 | O9.5 | IV | (n) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| λ Ori A | GOS 195.05-12.00_01 | 05:35:08.277 | +09:56:02.96 | O8 | III | ((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| θ ¹ Ori CaCb | GOS 209.01-19.38_01 | 05:35:16.463 | -05:23:23.18 | O7 | V | p | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| θ ² Ori A | GOS 209.05-19.37_01 | 05:35:22.900 | -05:24:57.79 | O9.5 | IV | p | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| ι Ori | GOS 209.52-19.58_01 | 05:35:25.981 | -05:54:35.64 | O9 | III | var | ... | O9 III + B1 III | S87 | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| HD 36 879 | GOS 185.22-05.89_01 | 05:35:40.527 | +21:24:11.72 | O7 | V | (n)((f))z | ... | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| σ Ori AB | GOS 206.82-17.34_01 | 05:38:44.765 | -02:36:00.25 | O9.7 | III | ... | ... | O9.5 V + Bo.5 V + Bo/1 V | S11 | ... | SB3 | 2 | 4.3.2.8 | ... | 2 |
| HD 37 366 A | GOS 177.63-00.11_01 | 05:39:24.799 | +30:53:26.75 | O9.5 | IV | ... | ... | O9.5 V + Bo 1V | Bo7 | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| ζ Ori AaAb | GOS 206.45-16.59_01 | 05:40:45.527 | -01:56:33.26 | O9.2 | Ib | var Nwk | ... | ... | ... | ... | ... | 2 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| ζ Ori B | GOS 206.45-16.59_02 | 05:40:45.571 | -01:56:35.59 | O9.5 | II-III | (n) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| HD 37 737 | GOS 173.46+03.24_01 | 05:42:31.160 | +36:12:00.50 | O9.5 | II-III | (n) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| μ Col | GOS 237.29-27.10_01 | 05:45:59.895 | -32:18:23.18 | O9.5 | V | ... | ... | ... | ... | yes | ... | 0 | 4.3.3 | ... | 2 |
| V1382 Ori | GOS 194.07-05.88_01 | 05:54:44.731 | +13:51:17.06 | O6 | V: | [n]pe var | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.5 | ... | 1 |
| HD 41 161 | GOS 164.97+12.89_01 | 06:05:52.456 | +48:14:57.41 | O8 | V | n | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | | | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|--------------|---------------------|--------------|--------------|-------|-----|----|-------------|---------|------------------------|------|-----|---------|-----|---------|------|---|
| HD 41 997 | GOS 194.15-01.98_01 | 06:08:55.821 | +15:42:18.18 | O7.5 | V | | n((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 42 088 | GOS 190.04+00.48_01 | 06:09:39.574 | +20:29:15.46 | O6 | V | | ((f))z | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 44 811 | GOS 192.40+03.21_01 | 06:24:38.354 | +19:42:15.83 | O7 | V | | (n)z | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 45 314 | GOS 196.96+01.52_01 | 06:27:15.777 | +14:53:21.22 | O9: | ... | | npe | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.5 | ch | 1 |
| HD 46 056 A | GOS 206.34-02.25_01 | 06:31:20.862 | +04:50:03.85 | O8 | V | | n | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 46 106 | GOS 206.20-02.09_01 | 06:31:38.395 | +05:01:36.38 | O9.7 | III | | (n) | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 46 149 | GOS 206.22-02.04_01 | 06:31:52.533 | +05:01:59.19 | O8.5 | V | | ... | ... | O8 V + Bo 1V | M09 | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ... | 1 |
| HD 46 150 | GOS 206.31-02.07_01 | 06:31:55.519 | +04:56:34.27 | O5 | V | | ((f))z | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 46 223 | GOS 206.44-02.07_01 | 06:32:09.306 | +04:49:24.73 | O4 | V | | ((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 46 202 | GOS 206.31-02.00_01 | 06:32:10.471 | +04:57:59.79 | O9.2 | V | | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 1-2 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 46 485 | GOS 206.90-01.84_01 | 06:33:50.957 | +04:31:31.61 | O7 | V | | ((f))nz var | ... | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 46 573 | GOS 208.73-02.63_01 | 06:34:23.568 | +02:32:02.94 | O7 | V | | ((f))z | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 46 966 | GOS 205.81-00.55_01 | 06:36:25.887 | +06:04:59.47 | O8.5 | IV | | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 47 129 | GOS 205.87-00.31_01 | 06:37:24.042 | +06:08:07.38 | O8 | ... | | fp var | ... | O8 III/I + O7.5 III | Lo8 | ... | ... | ... | 4.3.2.3 | ch | 1 |
| V689 Mon | GOS 210.03-02.11_01 | 06:38:38.187 | +01:36:48.66 | O9.7 | Ib | | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| 15 Mon B | GOS 202.94+02.20_02 | 06:40:58.546 | +09:53:42.23 | O9.5: | ... | | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2 | 4.3.3 | new | 2 |
| 15 Mon AaAb | GOS 202.94+02.20_01 | 06:40:58.656 | +09:53:44.71 | O7 | V | | ((f))z var | ... | O7 V(f) + O9.5: Vn | G93 | ... | SB2 | 2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 48 099 | GOS 206.21+00.80_01 | 06:41:59.231 | +06:20:43.54 | O5 | V | | ((f))z | O9: V | O5.5 V((f)) + O9 V | M10 | ... | SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 48 279 A | GOS 210.41-01.17_01 | 06:42:40.548 | +01:42:58.23 | O8.5 | V | | z Nstr var? | ... | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 52 266 | GOS 219.13-00.68_01 | 07:00:21.077 | -05:49:35.95 | O9.5 | III | | n | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 52 533 A | GOS 216.85+00.80_01 | 07:01:27.048 | -03:07:03.28 | O8.5 | IV | | n | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 53 975 | GOS 225.68-02.32_01 | 07:06:35.964 | -12:23:38.23 | O7.5 | V | | z | ... | O7.5 V + B2-3 V | G94 | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| HD 54 662 | GOS 224.17-00.78_01 | 07:09:20.249 | -10:20:47.64 | O7 | V | | z var? | ... | O6.5 V + O7-9.5 V | Bo7 | ... | SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 54 879 | GOS 225.55-01.28_01 | 07:10:08.149 | -11:48:09.86 | O9.7 | V | | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 55 879 | GOS 224.73+00.35_01 | 07:14:28.253 | -10:18:58.50 | O9.7 | III | | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| 29 CMa | GOS 237.82-05.37_01 | 07:18:40.378 | -24:33:31.32 | O7 | Ia | | fp var | ... | ... | ... | ... | SB2E | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| τ CMa AaAb | GOS 238.18-05.54_01 | 07:18:42.487 | -24:57:15.78 | O9 | II | | ... | ... | ... | ... | yes | SB1+SBE | 2-3 | 4.3.3 | ... | 2 |
| HD 57 236 | GOS 235.64-04.02_01 | 07:19:30.102 | -22:00:17.29 | O8.5 | V | | ... | ... | ... | ... | yes | ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 57 682 | GOS 224.41+02.63_01 | 07:22:02.053 | -08:58:45.77 | O9.2 | IV | | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 60 848 | GOS 202.51+17.52_01 | 07:37:05.731 | +16:54:15.29 | O8: | V: | | pe | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.5 | ch | 1 |
| HD 64 315 AB | GOS 243.16+00.36_01 | 07:52:20.284 | -26:25:46.69 | O5.5 | V | | z | O7 V | ... | ... | yes | SB2+SB2 | 2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| CPD -26 2716 | GOS 243.82+00.14_01 | 07:53:01.007 | -27:06:57.75 | O6.5 | Iab | | f | ... | ... | ... | yes | ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 64 568 | GOS 243.14+00.71_01 | 07:53:38.206 | -26:14:02.62 | O3 | V | | ((f*))z | ... | ... | ... | yes | SB1? | 1-3 | 4.3.3 | ch | 2 |
| CPD -28 2561 | GOS 245.45-00.10_01 | 07:55:52.854 | -28:37:46.78 | O6.5 | ... | | f?p | ... | ... | ... | yes | ... | 0-2 | 4.3.2.4 | ch | 2 |
| ζ Pup | GOS 255.98-04.71_01 | 08:03:35.047 | -40:00:11.33 | O4 | I | | (n)fp | ... | ... | ... | yes | ... | 0 | 4.3.2.3 | ch | 2 |
| HD 68 450 | GOS 254.47-02.02_01 | 08:11:01.683 | -37:17:32.55 | O9.7 | II | | ... | ... | ... | ... | yes | ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 69 106 | GOS 254.52-01.33_01 | 08:14:03.800 | -36:57:07.95 | O9.7 | II | | n | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|-----------------|---------------------|--------------|--------------|-------|-------|-----------|------------------------|---------------|-----|-------------|------|---------|------|---|
| CPD -35 2105 AB | GOS 253.64-00.45_01 | 08:15:17.182 | -35:44:14.85 | O9.2 | III | ... | ... | ... | ... | ... | 2 | 4.3.1.4 | new | 2 |
| HD 69 464 | GOS 253.61-00.30_01 | 08:15:48.565 | -35:37:52.88 | O7 | Ib | (f) | ... | ... | ... | yes ... | 1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 71 304 | GOS 261.76-03.77_01 | 08:24:55.790 | -44:18:03.01 | O9 | II | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| NX Vel AB | GOS 260.18+00.64_01 | 08:39:09.524 | -40:25:09.28 | O8.5 | IV | ... | ... | ... | ... | yes SB1+SBE | 1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| LM Vel | GOS 264.04-01.95_01 | 08:40:47.792 | -45:03:30.22 | O8.5 | Ib-II | (f)p | ... | ... | ... | yes SB1 | 0 | 4.3.2.3 | ch | 2 |
| HD 74 920 | GOS 265.29-01.95_01 | 08:45:10.340 | -46:02:19.25 | O7.5 | IV | n((f)) | ... | ... | ... | ... ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 75 211 | GOS 263.96-00.47_01 | 08:47:01.592 | -44:04:28.85 | O8.5 | II | ((f)) | ... | ... | ... | yes SB1 | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 75 222 | GOS 258.29+04.18_01 | 08:47:25.137 | -36:45:02.68 | O9.7 | Iab | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0 | 4.3.3 | ... | 2 |
| HD 75 759 | GOS 262.80+01.25_01 | 08:50:21.017 | -42:05:23.27 | O9 | V | ... | Bo V | ... | ... | ... SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 76 341 | GOS 263.53+01.52_01 | 08:54:00.615 | -42:29:08.75 | O9.2 | IV | ... | ... | ... | ... | yes ... | 1 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 76 556 | GOS 267.58-01.63_01 | 08:55:07.144 | -47:36:27.15 | O6 | IV | (n)((f))p | ... | ... | ... | yes SB1? | 0 | 4.3.2.3 | ch | 2 |
| HD 76 968 | GOS 270.22-03.37_01 | 08:57:28.850 | -50:44:58.21 | O9.2 | Ib | ... | ... | ... | ... | yes SB1 | 0-1 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| CPD -47 2962 | GOS 268.00-01.38_01 | 08:57:51.661 | -47:45:43.94 | O7 | V | ((f))z | ... | ... | ... | ... ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| CPD -47 2963 | GOS 267.98-01.36_01 | 08:57:54.620 | -47:44:15.71 | O5 | I | fc | ... | ... | ... | yes SB1? | 0 | 4.3.2.1 | ch | 2 |
| HDE 298 429 | GOS 274.47-00.25_01 | 09:30:37.253 | -51:39:34.68 | O8.5 | V | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 89 137 | GOS 279.69+04.45_01 | 10:15:40.086 | -51:15:24.08 | ON9.7 | II | (n) | ... | ... | ... | yes SB1? | 0-1 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 90 087 | GOS 285.16-02.13_01 | 10:22:20.878 | -59:45:19.69 | O9.2 | III | (n) | ... | ... | ... | yes ... | 0-2 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| SS 215 | GOS 284.33-00.58_01 | 10:23:23.500 | -58:00:20.80 | O2 | I | f*/WN5 | ... | ... | ... | ... ... | 0-2 | 4.3.2.6 | new | 2 |
| HD 91 572 | GOS 285.52-00.05_01 | 10:33:12.266 | -58:10:13.64 | O6.5 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes SB1 | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 91 651 | GOS 286.55-01.72_01 | 10:33:30.301 | -60:07:40.04 | ON9.5 | III | n | ... | ... | ... | yes SB3? | 0-2 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 91 824 | GOS 285.70+00.07_01 | 10:34:46.633 | -58:09:22.02 | O7 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes SB1 | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 91 837 | GOS 286.72-01.69_01 | 10:34:49.506 | -60:11:14.06 | O8.5 | V | n | ... | ... | ... | ... ... | 0-2 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 92 206 C | GOS 286.22-00.18_01 | 10:37:18.627 | -58:37:41.73 | O8 | V | z | O9.7 V | O7.5 V + Bo V | Co7 | yes SB2 | 0-5 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 92 206 A | GOS 286.22-00.17_01 | 10:37:22.276 | -58:37:22.81 | O6 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes ... | 1-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 92 206 B | GOS 286.22-00.17_02 | 10:37:22.960 | -58:37:23.00 | O6 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 92 504 | GOS 285.92+00.99_01 | 10:39:36.873 | -57:27:40.65 | O8.5 | V | (n) | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 92 607 | GOS 287.11-01.02_01 | 10:40:12.429 | -59:48:10.10 | O9 | IV | n | ... | ... | ... | ... ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| HDE 305 438 | GOS 287.44-00.96_01 | 10:42:43.772 | -59:54:16.47 | O8 | V | z | ... | ... | ... | ... ... | 0-5 | 4.3.3 | new | 2 |
| HDE 303 316 A | GOS 287.41-00.79_01 | 10:43:11.178 | -59:44:21.02 | O7 | V | ((f))z | ... | ... | ... | ... ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 93 028 | GOS 287.64-01.19_01 | 10:43:15.340 | -60:12:04.21 | O9 | IV | ... | ... | ... | ... | yes SB1 | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 93 027 | GOS 287.61-01.13_01 | 10:43:17.954 | -60:08:03.29 | O9.5 | IV | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HDE 303 312 | GOS 287.33-00.55_01 | 10:43:30.842 | -59:29:23.80 | O9.7 | IV | ... | ... | ... | ... | ... SBE | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| ALS 15 204 | GOS 287.40-00.63_02 | 10:43:41.237 | -59:35:48.18 | O7.5 | V | z | ... | ... | ... | ... SB2? | 1-3 | 4.3.3 | new | 2 |
| HDE 305 518 | GOS 287.51-00.81_01 | 10:43:44.006 | -59:48:17.96 | O9.7 | III | ... | ... | ... | ... | ... ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| CPD -58 2611 | GOS 287.39-00.59_01 | 10:43:46.695 | -59:32:54.82 | O6 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes SB1? | 1-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| ALS 15 207 | GOS 287.40-00.59_01 | 10:43:48.707 | -59:33:24.10 | O9 | V | ... | ... | ... | ... | ... ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 93 128 | GOS 287.40-00.58_01 | 10:43:54.372 | -59:32:57.37 | O3.5 | V | ((fc))z | ... | ... | ... | yes ... | 3-22 | 4.3.2.1 | ch | 2 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|------------------|---------------------|--------------|--------------|-------|--------|---------|------------------------|-------------------------|------|----------|------|---------|------|---|
| Trumpler 14-9 | GOS 287.41-00.58_01 | 10:43:55.354 | -59:32:48.61 | O8.5 | V | ... | ... | ... | ... | ... | many | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 93 129 AaAb | GOS 287.41-00.57_01 | 10:43:57.462 | -59:32:51.27 | O2 | I | f* | ... | ... | ... | yes | many | 4.3.3 | ... | 2 |
| CPD -59 2551 | GOS 287.67-01.05_02 | 10:43:57.488 | -60:05:28.16 | O9 | V | ... | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 93 129 B | GOS 287.41-00.57_02 | 10:43:57.638 | -59:32:53.50 | O3.5 | V | ((f)) | ... | ... | ... | yes | many | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 93 146 B | GOS 287.67-01.05_03 | 10:43:59.454 | -60:05:13.33 | O9.7 | IV | ... | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| CPD -58 2620 | GOS 287.41-00.56_01 | 10:43:59.917 | -59:32:25.36 | O7 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes | 1-6 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 93 146 A | GOS 287.67-01.05_01 | 10:44:00.158 | -60:05:09.86 | O7 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes SB1 | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 93 130 | GOS 287.57-00.86_01 | 10:44:00.371 | -59:52:27.50 | O6.5 | III | (f) | ... | ... | ... | SB1E | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| CPD -59 2554 | GOS 287.67-01.06_01 | 10:44:00.433 | -60:05:59.96 | O9.5 | IV | ... | ... | ... | ... | ... | 1-2 | 4.3.3 | new | 2 |
| ALS 15 206 | GOS 287.44-00.61_01 | 10:44:00.927 | -59:35:45.74 | O9.2 | V | ... | ... | ... | ... | ... | 0-2 | 4.3.1.4 | new | 2 |
| CPD -58 2627 | GOS 287.39-00.52_01 | 10:44:02.445 | -59:29:36.77 | O9.5 | V | (n) | ... | ... | ... | ... | 1-2 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 93 160 | GOS 287.44-00.59_01 | 10:44:07.267 | -59:34:30.61 | O7 | III | ((f)) | ... | ... | ... | yes | 1-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 93 161 A | GOS 287.44-00.59_02 | 10:44:08.840 | -59:34:34.49 | O7.5 | V | ... | O9 V | O8 V + O9 V | No5 | yes SB2 | 1-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 93 161 B | GOS 287.44-00.59_03 | 10:44:09.080 | -59:34:35.30 | O6.5 | IV | ((f)) | ... | ... | ... | yes SB1? | 1-3 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 93 162 | GOS 287.51-00.71_01 | 10:44:10.389 | -59:43:11.09 | O2.5 | I | f*/WN6 | OB | ... | ... | yes SB2 | 1 | 4.3.2.6 | new | 2 |
| HDE 305 536 | GOS 287.67-01.01_01 | 10:44:11.078 | -60:03:21.58 | O9.5 | V | ... | ... | ... | ... | SB1 | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| ALS 15 210 | GOS 287.52-00.71_01 | 10:44:13.199 | -59:43:10.33 | O3.5 | I | f* Nwk | ... | ... | ... | ... | 2 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 93 190 | GOS 287.33-00.32_01 | 10:44:19.615 | -59:16:58.81 | O9.7: | V: | (n)e | ... | ... | ... | ... | 1 | 4.3.2.5 | new | 2 |
| QZ Car | GOS 287.67-00.94_01 | 10:44:22.910 | -59:59:35.95 | O9.7 | Ib | n | ... | O9.7 I + O8 III | P11 | SB1E+SB1 | 1-3 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HDE 305 523 | GOS 287.66-00.90_01 | 10:44:29.479 | -59:57:18.11 | O9 | II-III | ... | ... | ... | ... | yes | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| Tyc 8626-02506-1 | GOS 287.42-00.44_01 | 10:44:30.218 | -59:26:12.97 | O9 | V | (n) | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 93 204 | GOS 287.57-00.71_01 | 10:44:32.336 | -59:44:31.00 | O5.5 | V | ((f)) | ... | ... | ... | yes | 3 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 93 205 | GOS 287.57-00.71_02 | 10:44:33.740 | -59:44:15.46 | O3.5 | V | ((f)) | O8 V | O3 V + O8 V | Mo1 | yes SB2E | 1-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 93 222 | GOS 287.74-01.02_01 | 10:44:36.250 | -60:05:28.88 | O7 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| CPD -59 2591 | GOS 287.60-00.75_01 | 10:44:36.688 | -59:47:29.63 | O8.5 | V | ... | Bo.5: V: | ... | ... | SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | new | 2 |
| HDE 303 311 | GOS 287.48-00.54_01 | 10:44:37.463 | -59:32:55.44 | O6 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes | 1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| CPD -59 2600 | GOS 287.60-00.74_01 | 10:44:41.795 | -59:46:56.42 | O6 | V | ((f)) | ... | ... | ... | yes SB2? | 0-3 | 4.3.2.8 | ... | 2 |
| HD 93 249 A | GOS 287.41-00.36_01 | 10:44:43.875 | -59:21:25.15 | O9 | III | ... | ... | ... | ... | yes SB2 | 0-4 | 4.3.2.8 | ... | 2 |
| HD 93 250 AB | GOS 287.51-00.54_01 | 10:44:45.027 | -59:33:54.67 | O4 | III | (fc) | ... | ... | ... | yes | 1-2 | 4.3.2.1 | ch | 2 |
| HDE 305 524 | GOS 287.67-00.85_01 | 10:44:45.238 | -59:54:41.55 | O6.5 | V | n((f))z | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| V572 Car | GOS 287.59-00.69_01 | 10:44:47.307 | -59:43:53.23 | O7.5 | V | (n)z | Bo V(n) | O7 V + O9.5 V + Bo.2 IV | Ro1a | yes SB3E | 0-3 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| CPD -59 2610 | GOS 287.70-00.86_01 | 10:44:54.714 | -59:56:01.91 | O8.5 | V | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| CPD -59 2626 AB | GOS 287.63-00.69_01 | 10:45:05.794 | -59:45:19.60 | O7.5 | V | (n)z | ... | ... | ... | ... | 1-2 | 4.3.3 | new | 2 |
| CPD -59 2634 | GOS 287.62-00.66_01 | 10:45:05.828 | -59:43:07.57 | O9.7 | IV | ... | ... | ... | ... | ... | 1 | 4.3.3 | new | 2 |
| HDE 303 308 AB | GOS 287.59-00.61_01 | 10:45:05.919 | -59:40:05.93 | O4.5 | V | ((fc)) | ... | ... | ... | yes SB1? | 1 | 4.3.2.1 | ch | 2 |
| CPD -59 2627 | GOS 287.61-00.64_01 | 10:45:06.721 | -59:41:56.58 | O9.5 | V | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| CPD -59 2629 | GOS 287.64-00.70_01 | 10:45:08.225 | -59:46:06.96 | O8.5 | V | p | ... | ... | ... | yes | 0-2 | 4.3.3 | new | 2 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|-----------------|---------------------|--------------|--------------|------|-----|-----------|-----------|---------------------------|------|-----|------|-----|---------|------|---|
| V573 Car | GOS 287.60-00.62_01 | 10:45:08.226 | -59:40:49.48 | O9.5 | V | (n) | Bo.5 V(n) | O9.5 V + Bo.2 V | Fo1 | yes | SB2E | 0 | 4.3.2.8 | new | 2 |
| HD 93 343 | GOS 287.64-00.68_01 | 10:45:12.217 | -59:45:00.42 | O8 | V | z | ... | O7-8.5 + O8 | Ro9 | yes | SB2 | 0-3 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| CPD -59 2635 | GOS 287.64-00.68_02 | 10:45:12.715 | -59:44:46.18 | O8 | V | (n) | O9.5 V | O8 V + O9.5 V | Ao1 | yes | SB2E | 0-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| CPD -59 2636 AB | GOS 287.64-00.67_01 | 10:45:12.870 | -59:44:19.24 | O8 | V | ... | O8 V | O7 V + O8 V + O9 V | Ao2 | yes | SB3 | 1-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| CPD -59 2641 | GOS 287.64-00.65_01 | 10:45:16.517 | -59:43:36.98 | O6 | V | ((fc)) | ... | O5.5-6 V((fc)) + B2 V-III | Ro9 | yes | SB2 | 0-2 | 4.3.2.1 | ch | 2 |
| CPD -59 2644 | GOS 287.64-00.64_01 | 10:45:20.573 | -59:42:51.25 | O9 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| [ARV2008] 206 | GOS 287.71-00.75_01 | 10:45:22.276 | -59:50:47.07 | O6 | V | ((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| HDE 305 532 | GOS 287.78-00.84_01 | 10:45:34.066 | -59:57:26.66 | O6.5 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes | SB1? | 1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| V662 Car | GOS 287.71-00.71_01 | 10:45:36.320 | -59:48:23.20 | O5 | V | z | Bo: V | O5.5 Vz + O9.5 V | No6 | yes | SB2E | 0-3 | 4.3.2.8 | new | 2 |
| HD 93 403 | GOS 287.54-00.34_01 | 10:45:44.122 | -59:24:28.15 | O5.5 | III | (fc) var | ... | O5.5 I + O7 V | Ro0 | yes | SB2 | 0 | 4.3.2.1 | ch | 2 |
| HDE 305 525 | GOS 287.79-00.71_01 | 10:46:05.704 | -59:50:49.45 | O5.5 | V | (n)((f))z | ... | ... | ... | ... | ... | 1-3 | 4.3.3 | new | 2 |
| CPD -59 2673 | GOS 287.84-00.73_01 | 10:46:22.461 | -59:53:20.46 | O5.5 | V | (n)((f))z | ... | ... | ... | yes | ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HDE 305 539 | GOS 287.94-00.88_01 | 10:46:33.069 | -60:04:12.62 | O8 | V | z | ... | ... | ... | yes | ... | 1-3 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 93 576 | GOS 287.98-00.87_01 | 10:46:53.839 | -60:04:41.92 | O9.5 | IV | (n) | ... | ... | ... | ... | SB1 | 0-3 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 93 632 | GOS 288.03-00.87_01 | 10:47:12.631 | -60:05:50.80 | O5 | I | f var | ... | ... | ... | yes | ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| ALS 18 083 | GOS 288.03-00.87_02 | 10:47:15.289 | -60:05:39.04 | O9.7 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 1-3 | 4.3.3 | new | 2 |
| HDE 305 612 | GOS 288.03-00.86_01 | 10:47:16.420 | -60:05:39.97 | O8 | V | (n)z | ... | ... | ... | ... | ... | 1-3 | 4.3.3 | new | 2 |
| HDE 305 619 | GOS 288.22-00.96_01 | 10:48:15.523 | -60:15:56.76 | O9.7 | II | ... | ... | ... | ... | yes | ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 93 521 | GOS 183.14+62.15_01 | 10:48:23.511 | +37:34:13.09 | O9.5 | III | nn | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 93 843 | GOS 288.24-00.90_01 | 10:48:37.769 | -60:13:25.53 | O5 | III | (fc) | ... | ... | ... | yes | SB1? | 0 | 4.3.2.1 | ch | 2 |
| HD 94 024 | GOS 287.34+01.27_01 | 10:50:01.505 | -57:52:26.26 | O8 | IV | ... | ... | ... | ... | yes | SB1 | 0-3 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HDE 303 492 | GOS 288.05+00.40_01 | 10:51:52.753 | -58:58:35.31 | O8.5 | Ia | f | ... | ... | ... | yes | ... | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 94 370 A | GOS 288.01+00.63_01 | 10:52:23.284 | -58:44:47.52 | O7 | ... | (n)fp | ... | ... | ... | yes | SB2? | 1-3 | 4.3.2.3 | ch | 2 |
| HD 94 963 | GOS 289.76-01.81_01 | 10:56:35.786 | -61:42:32.27 | O7 | II | (f) | ... | ... | ... | yes | ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| LS 2063 | GOS 289.77-01.22_01 | 10:58:45.475 | -61:10:43.01 | O5 | I | fp | ... | ... | ... | yes | ... | 0-2 | 4.3.2.7 | ch | 2 |
| ALS 18 556 | GOS 289.80-01.23_01 | 10:58:56.158 | -61:12:09.93 | O9.5 | Iab | p | ... | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 95 589 | GOS 290.51-02.24_01 | 11:00:50.448 | -62:24:34.25 | O8 | III | ((f)) | ... | ... | ... | yes | ... | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 96 264 | GOS 290.40-00.80_01 | 11:04:55.501 | -61:03:05.79 | O9.5 | III | ... | ... | ... | ... | yes | SB2 | 0-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 96 622 | GOS 290.09+00.57_01 | 11:06:59.781 | -59:40:04.38 | O9.2 | IV | ... | ... | ... | ... | yes | SB1 | 0-1 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 96 670 | GOS 290.20+00.40_01 | 11:07:13.933 | -59:52:23.17 | O8.5 | ... | (n)fp var | ... | ... | ... | ... | SB1 | 0 | 4.3.2.3 | ch | 2 |
| HD 96 715 | GOS 290.27+00.33_01 | 11:07:32.817 | -59:57:48.68 | O4 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes | ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 96 917 | GOS 289.28+03.06_01 | 11:08:42.620 | -57:03:56.93 | O8 | Ib | (n)(f) | ... | ... | ... | yes | SB1 | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 96 946 | GOS 290.73-00.34_01 | 11:08:51.764 | -60:45:33.90 | O6.5 | III | (f) | ... | ... | ... | yes | SB1 | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 97 166 | GOS 290.67+00.19_01 | 11:10:05.991 | -60:14:56.90 | O7.5 | IV | ((f)) | O9 III: | ... | ... | yes | SB3? | 0-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 97 253 | GOS 290.79+00.09_01 | 11:10:42.046 | -60:23:04.15 | O5 | III | (f) | ... | ... | ... | yes | SB1? | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 97 434 | GOS 291.04-00.15_01 | 11:11:49.574 | -60:41:58.24 | O7.5 | III | (n)((f)) | ... | ... | ... | yes | SB2 | 1 | 4.3.2.8 | ... | 2 |
| HD 97 848 | GOS 290.74+01.53_01 | 11:14:31.902 | -59:01:28.84 | O8 | V | ... | ... | ... | ... | yes | ... | 0-1 | 4.3.3 | ... | 2 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|-----------------|---------------------|--------------|--------------|-------|--------|----------|------------------------|----------------------|-----|--------------|-----|---------|------|---|
| HD 99 897 | GOS 293.61-01.28_01 | 11:28:54.180 | -62:39:09.83 | O6.5 | IV | ((f)) | ... | ... | ... | yes ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| TU Mus | GOS 294.81-04.14_01 | 11:31:10.927 | -65:44:32.10 | O8 | V | (n)z | Bo V(n) | O7.5 V + O9.5 V | Lo7 | yes SB2E | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 101 131 | GOS 294.78-01.62_01 | 11:37:48.436 | -63:19:23.51 | O5.5 | V | ((f)) | O8: V | O6.5 V((f)) + O8.5 V | Go2 | yes SB2E | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HDE 308 813 | GOS 294.79-01.61_01 | 11:37:58.453 | -63:18:59.46 | O9.7 | IV | (n) | ... | ... | ... | yes SB1 | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 101 190 | GOS 294.78-01.49_01 | 11:38:09.912 | -63:11:48.61 | O6 | IV | ((f)) | ... | O4 V((f)) + O7 V | S11 | yes SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 101 191 | GOS 294.84-01.68_01 | 11:38:12.167 | -63:23:26.78 | O8 | V | ... | ... | ... | ... | yes SB1 | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 101 205 AB | GOS 294.85-01.65_01 | 11:38:20.375 | -63:22:21.95 | O7 | II: | (n) | ... | ... | ... | yes SB2+SB1E | 2-3 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 101 223 | GOS 294.81-01.49_01 | 11:38:22.768 | -63:12:02.80 | O8 | V | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 101 298 | GOS 294.94-01.69_01 | 11:39:03.277 | -63:25:47.07 | O6.5 | IV | ((f)) | ... | ... | ... | yes ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 101 413 | GOS 295.03-01.71_01 | 11:39:45.836 | -63:28:40.14 | O8 | V | ... | ... | O8 V + B3: V | S11 | yes SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | ... | 2 |
| HD 101 436 | GOS 295.04-01.71_01 | 11:39:49.961 | -63:28:43.56 | O6.5 | V | ((f)) | ... | O6.5 V + O7 V | S11 | yes SB2 | 0-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 101 545 A | GOS 294.88-00.81_01 | 11:40:37.007 | -62:34:05.07 | O9.2 | II | ... | ... | ... | ... | yes ... | 1 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 102 415 | GOS 295.30+00.45_01 | 11:46:54.404 | -61:27:46.99 | ON9 | IV: | nn | ... | ... | ... | yes SB2? | 0-3 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 104 565 | GOS 296.51+04.02_01 | 12:02:27.795 | -58:14:34.36 | OC9.7 | Iab | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| GS Mus | GOS 298.95-07.06_01 | 12:05:49.879 | -69:34:23.00 | ON9.7 | Ia | e | ... | ... | ... | yes SB1? | 0 | 4.3.2.2 | ... | 2 |
| HD 105 627 | GOS 298.15-00.10_01 | 12:09:44.579 | -62:34:54.61 | O9 | III | ... | ... | ... | ... | yes SB1 | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 112 244 | GOS 303.55+06.03_01 | 12:55:57.134 | -56:50:08.89 | O8.5 | Iab | (f)p | ... | ... | ... | yes SB2 | 0 | 4.3.2.3 | ch | 2 |
| HD 113 659 | GOS 304.52-02.26_01 | 13:06:32.350 | -65:04:49.53 | O9 | IV | ... | ... | ... | ... | ... SBE | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| θ Mus B | GOS 304.67-02.49_01 | 13:08:07.048 | -65:18:26.98 | O9 | III | ... | ... | ... | ... | ... .. | 0-3 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 114 737 AB | GOS 305.41-00.82_01 | 13:13:45.528 | -63:35:11.75 | O8.5 | III | ... | ... | ... | ... | yes SB1 | 1-3 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 114 886 AaAb | GOS 305.52-00.83_01 | 13:14:44.381 | -63:34:51.77 | O9 | III | ... | O9.5 III | ... | ... | yes SB2 | 2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 115 071 | GOS 305.76+00.15_01 | 13:16:04.802 | -62:35:01.47 | O9.5 | III | ... | Bo Ib | O9.5 V + Bo.2 III | Po2 | yes SB2E | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 115 455 | GOS 306.06+00.22_01 | 13:18:35.360 | -62:29:28.39 | O8 | III | ((f)) | ... | ... | ... | yes SB2 | 0-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 116 282 | GOS 307.01+02.80_01 | 13:23:56.255 | -59:48:34.80 | O8 | III | (n) | ... | ... | ... | yes ... | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 116 852 | GOS 304.88-16.13_01 | 13:30:23.519 | -78:51:20.57 | O8.5 | II-III | ((f)) | ... | ... | ... | yes ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 117 490 | GOS 307.88+01.66_01 | 13:32:08.600 | -60:48:55.47 | ON9.5 | III | nn | ... | ... | ... | yes ... | 0-2 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 117 797 | GOS 307.86+00.04_01 | 13:34:11.983 | -62:25:01.80 | O7.5 | ... | fp | ... | ... | ... | yes SB2 | 0 | 4.3.2.3 | ch | 2 |
| HD 117 856 | GOS 307.77-00.87_01 | 13:34:43.414 | -63:20:07.52 | O9.7 | II-III | ... | ... | ... | ... | yes SB2 | 1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 118 198 | GOS 307.96-01.22_01 | 13:36:59.493 | -63:38:45.70 | O9.7 | III | ... | ... | ... | ... | yes ... | 1-3 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 120 521 | GOS 310.73+03.42_01 | 13:51:33.984 | -58:32:22.29 | O7.5 | Ib | (f) | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 120 678 | GOS 309.91-00.69_01 | 13:52:56.414 | -62:43:14.24 | O9.5 | V | e | ... | ... | ... | yes ... | 0-2 | 4.3.2.5 | ch | 2 |
| HD 123 056 | GOS 312.17+01.03_01 | 14:07:25.640 | -60:28:14.11 | O9.5 | IV | (n) | ... | ... | ... | yes SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 123 008 | GOS 311.02-02.80_01 | 14:07:30.650 | -64:28:08.82 | ON9.2 | Iab | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 123 590 | GOS 311.95-01.00_01 | 14:10:43.969 | -62:28:44.42 | O8 | V | z | ... | ... | ... | yes SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 124 314 A | GOS 312.67-00.43_01 | 14:15:01.616 | -61:42:24.59 | O6 | IV | (n)((f)) | ... | ... | ... | yes SB2? | 2-3 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 124 314 BaBb | GOS 312.67-00.43_02 | 14:15:01.745 | -61:42:26.88 | O9.2 | IV | (n) | ... | ... | ... | ... .. | 2 | 4.3.1.4 | new | 2 |
| HD 124 979 | GOS 316.40+09.08_01 | 14:18:11.937 | -51:30:13.85 | O7.5 | IV | (n)((f)) | ... | ... | ... | yes SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|-----------------|---------------------|--------------|--------------|--------|--------|---------|------------------------|---|------|----------|-----|---------|------|---|
| HD 125 206 | GOS 313.45-00.03_01 | 14:20:09.041 | -61:04:54.61 | O9.7 | IV | n | ... | ... | ... | yes SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 125 241 | GOS 313.54+00.14_01 | 14:20:22.788 | -60:53:22.26 | O8.5 | Ib | (f) | ... | ... | ... | yes ... | 0 | 4.3.3 | ... | 2 |
| CPD -59 5634 | GOS 315.37-00.08_01 | 14:34:54.430 | -60:25:39.77 | O9.2 | Ib | ... | ... | ... | ... | ... .. | 0-1 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 130 298 | GOS 318.77+02.77_01 | 14:49:33.762 | -56:25:38.44 | O6.5 | III | (n)(f) | ... | ... | ... | yes SB1 | 0-2 | 4.3.3 | ... | 2 |
| δ Cir | GOS 319.69-02.91_01 | 15:16:56.894 | -60:57:26.12 | O8 | V | ... | ... | O7 III-V + O9.5 V + B0.5 V | Po1 | yes SB3E | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 135 591 | GOS 320.13-02.64_01 | 15:18:49.142 | -60:29:46.80 | O8 | IV | ((f)) | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| CPD -54 6791 AB | GOS 327.56-00.83_01 | 15:55:39.607 | -54:38:36.67 | O9.5 | V | ... | ... | ... | ... | yes SB1? | 2-6 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 148 546 | GOS 343.38+07.15_01 | 16:30:23.312 | -37:58:21.15 | O9 | Iab | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 148 937 | GOS 336.37-00.22_01 | 16:33:52.387 | -48:06:40.47 | O6 | ... | f?p | ... | ... | ... | yes ... | 1 | 4.3.2.4 | ch | 2 |
| μ Nor | GOS 339.38+02.51_01 | 16:34:05.023 | -44:02:43.14 | O9.7 | Iab | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | ... | 2 |
| HD 149 404 | GOS 340.54+03.01_01 | 16:36:22.564 | -42:51:31.91 | O8.5 | Iab | (f)p | ... | O7.5 I(f) + ON9.7 I | Ro1b | yes SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| ζ Oph | GOS 006.28+23.59_01 | 16:37:09.530 | -10:34:01.75 | O9.2 | IV | nn | ... | ... | ... | ... .. | 0 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 149 452 | GOS 337.47+00.03_01 | 16:37:10.514 | -47:07:49.85 | O9 | IV | n | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 150 135 | GOS 336.71-01.57_01 | 16:41:19.446 | -48:45:47.54 | O6.5 | V | ((f))z | ... | ... | ... | yes SB2 | 0-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 150 136 | GOS 336.71-01.57_02 | 16:41:20.445 | -48:45:46.74 | O3.5-4 | III | (f*) | O6 IV | O3-3.5 V((f)) + O5.5-6 V((f)) + O6.5-7 V((f)) | M12 | yes SB3 | 2-3 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 150 574 | GOS 339.00-00.20_01 | 16:44:07.209 | -46:08:29.85 | ON9 | III | (n) | ... | ... | ... | yes SB2? | 0-2 | 4.3.2.2 | ... | 2 |
| HDE 328 856 | GOS 338.56-01.13_01 | 16:46:33.353 | -47:04:50.95 | O9.7 | II | ... | ... | ... | ... | ... .. | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 151 003 | GOS 342.72+02.41_01 | 16:46:34.194 | -41:36:38.52 | O8.5 | III | ... | ... | ... | ... | yes SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| CPD -46 8221 | GOS 338.56-01.14_01 | 16:46:36.028 | -47:05:11.52 | O9.7 | II-III | ... | ... | ... | ... | ... .. | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 150 958 AB | GOS 338.56-01.15_01 | 16:46:38.866 | -47:05:24.65 | O6.5 | Ia | (n)f | ... | ... | ... | yes SB2 | 1-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 151 018 | GOS 339.51-00.41_01 | 16:46:56.117 | -45:53:14.33 | O9 | Ib | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 151 515 | GOS 342.81+01.70_01 | 16:49:48.253 | -42:00:06.20 | O7 | II | (f) | ... | ... | ... | yes ... | 0-2 | 4.3.3 | ... | 2 |
| HD 151 804 | GOS 343.62+01.94_01 | 16:51:33.722 | -41:13:49.92 | O8 | Ia | f | ... | ... | ... | yes SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ... | 2 |
| HD 152 003 | GOS 343.33+01.41_01 | 16:52:47.373 | -41:47:09.00 | O9.7 | Iab | Nwk | ... | ... | ... | yes ... | 0 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 152 147 | GOS 343.15+01.10_01 | 16:53:28.619 | -42:07:17.06 | O9.7 | Ib | Nwk | ... | ... | ... | yes SB2 | 0-2 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 152 200 | GOS 343.41+01.22_01 | 16:53:51.655 | -41:50:32.71 | O9.7 | IV | (n) | ... | ... | ... | yes SB1? | 0-2 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 152 219 | GOS 343.39+01.18_01 | 16:53:55.606 | -41:52:51.47 | O9.5 | III | (n) | ... | O9 III + B1-2 V/III | So8 | yes SB2E | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 152 218 | GOS 343.53+01.28_01 | 16:53:59.989 | -41:42:52.83 | O9 | IV | ... | Bo: V: | O9 IV + O9.7 V | So8 | yes SB2E | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 152 233 | GOS 343.48+01.22_01 | 16:54:03.591 | -41:47:29.91 | O6 | II | (f) | ... | O5.5 + O7.5 | So8 | yes SB2 | 1-4 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 152 246 | GOS 344.03+01.67_01 | 16:54:05.300 | -41:04:46.11 | O9 | IV | ... | ... | ... | ... | yes SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| CPD -41 7721 A | GOS 343.44+01.17_01 | 16:54:06.709 | -41:51:07.17 | O9.7 | V | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0-3 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 152 248 AaAb | GOS 343.46+01.18_01 | 16:54:10.063 | -41:49:30.12 | O7 | Iab | f | O7 Ib(f) | O7 III(f) + O7.5 III(f) | So8 | yes SB2E | 1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 152 247 | GOS 343.61+01.30_01 | 16:54:11.517 | -41:38:30.96 | O9.2 | III | ... | ... | O9 III + O9.7: V | So8 | yes SB2 | 0-2 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 152 249 | GOS 343.45+01.16_01 | 16:54:11.641 | -41:50:57.27 | OC9 | Iab | ... | ... | ... | ... | yes SB1? | 0 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| CPD -41 7733 | GOS 343.46+01.17_01 | 16:54:13.222 | -41:50:32.52 | O9 | IV | ... | ... | O8.5 V + B3 | So8 | yes SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HDE 326 329 | GOS 343.46+01.17_02 | 16:54:14.106 | -41:50:08.48 | O9.7 | V | ... | ... | ... | ... | yes ... | 0-4 | 4.3.3 | new | 2 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|---------------------|---------------------|--------------|--------------|-------|-------|-----------|------------------------|------|-----|---------|-----|---------|------|---|
| V1034 Sco | GOS 343.48+01.15_01 | 16:54:19.824 | -41:50:09.38 | O9.5 | IV | ... | O9.5 V + B1.5 V | So8 | yes | SB2E | 1-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HDE 326 331 | GOS 343.49+01.14_01 | 16:54:25.958 | -41:49:55.89 | O8 | IV | n((f)) | ... | ... | ... | yes SB2 | 0-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 152 314 | GOS 343.52+01.14_01 | 16:54:32.003 | -41:48:18.86 | O9 | IV | ... | O8.5 III + B1-3 V | So8 | yes | SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 152 405 | GOS 344.56+01.89_01 | 16:54:55.371 | -40:31:29.38 | O9.7 | II | ... | ... | ... | yes | SB1 | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 152 408 | GOS 344.08+01.49_01 | 16:54:58.505 | -41:09:03.08 | O8: | Ia | fpe | ... | ... | yes | ... | 0-1 | 4.3.2.7 | ... | 2 |
| HD 152 424 | GOS 343.36+00.89_01 | 16:55:03.331 | -42:05:27.00 | OC9.2 | Ia | ... | ... | ... | yes | SB1 | 0 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 152 386 | GOS 341.11-00.94_01 | 16:55:06.451 | -44:59:21.37 | O6: | Ia | fpe | ... | ... | yes | ... | 1-2 | 4.3.2.7 | ... | 2 |
| HD 152 590 | GOS 344.84+01.83_01 | 16:56:05.216 | -40:20:57.60 | O7.5 | V | z | ... | ... | yes | SB2E | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 152 623 AB | GOS 344.62+01.61_01 | 16:56:15.026 | -40:39:35.76 | O7 | V | (n)((f))z | ... | ... | ... | SB1 | 1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 152 723 AaAb | GOS 344.81+01.61_01 | 16:56:54.676 | -40:30:44.39 | O6.5 | III | (f) | ... | ... | yes | SB1 | 1-4 | 4.3.3 | ... | 2 |
| HDE 322 417 | GOS 345.26+01.47_01 | 16:58:55.392 | -40:14:33.34 | O6.5 | IV | ((f)) | ... | ... | yes | SB1 | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 153 426 | GOS 347.14+02.38_01 | 17:01:13.007 | -38:12:11.88 | O8.5 | III | ... | ... | ... | yes | SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 153 919 | GOS 347.75+02.17_01 | 17:03:56.773 | -37:50:38.91 | O6 | Ia | fcf | ... | ... | ... | SB1E | 0 | 4.3.2.7 | ch | 2 |
| HD 154 368 | GOS 349.97+03.22_01 | 17:06:28.371 | -35:27:03.76 | O9.2 | Iab | ... | ... | ... | yes | SBE | 1-2 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 154 643 | GOS 350.54+03.19_01 | 17:08:13.983 | -35:00:15.68 | O9.7 | III | ... | ... | ... | yes | SB1 | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 154 811 | GOS 341.06-04.22_01 | 17:09:53.086 | -47:01:53.19 | OC9.7 | Ib | ... | ... | ... | yes | ... | 0 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 155 806 | GOS 352.59+02.87_01 | 17:15:19.247 | -33:32:54.30 | O7.5 | V | ((f))z(e) | ... | ... | yes | ... | 1 | 4.3.2.5 | ch | 2 |
| HD 155 775 | GOS 348.80+00.15_01 | 17:15:22.325 | -38:12:46.70 | O9.7 | III | (n) | ... | ... | ... | SB1 | 0-2 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 155 756 | GOS 342.57-04.39_01 | 17:15:50.150 | -45:54:38.77 | O9 | Ib | p | ... | ... | yes | ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 155 889 AB | GOS 352.50+02.67_01 | 17:15:50.752 | -33:44:13.21 | O9.5 | IV | ... | ... | ... | yes | SB3? | 1-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 155 913 | GOS 345.29-02.61_01 | 17:16:26.336 | -42:40:04.13 | O4.5 | V | n((f)) | ... | ... | yes | SB2 | 1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 156 154 | GOS 351.22+01.36_01 | 17:17:27.009 | -35:32:12.00 | O7.5 | Ib | (f) | ... | ... | yes | ... | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 156 292 | GOS 345.35-03.08_01 | 17:18:45.814 | -42:53:29.92 | O9.7 | III | ... | ... | ... | yes | SB2 | 0-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| ALS 18 770 | GOS 348.71-00.79_01 | 17:19:00.800 | -38:49:23.13 | O7 | V | ((f))z | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| ALS 18 768 | GOS 348.72-00.79_02 | 17:19:01.052 | -38:48:58.94 | O8.5 | V | ... | ... | ... | ... | ... | 1-4 | 4.3.3 | new | 2 |
| ALS 18 771 | GOS 348.72-00.79_01 | 17:19:01.683 | -38:49:10.64 | O9 | V | ... | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| ALS 18 748 | GOS 348.72-00.80_01 | 17:19:04.508 | -38:49:04.81 | O5 | III | (f) | ... | ... | yes | SB2 | 1-2 | 4.3.2.8 | new | 2 |
| LS 4067 AB | GOS 348.73-00.80_01 | 17:19:05.564 | -38:48:49.95 | O4.5 | I | fpe | ... | ... | yes | ... | 1-2 | 4.3.2.7 | ch | 2 |
| ALS 18 767 | GOS 348.72-00.80_02 | 17:19:05.771 | -38:49:02.14 | O9.7 | V | ... | ... | ... | ... | ... | 0-2 | 4.3.3 | new | 2 |
| ALS 18 747 | GOS 348.76-00.78_01 | 17:19:06.027 | -38:46:44.88 | O5.5 | I | fc | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.2.1 | new | 2 |
| HDE 319 699 | GOS 351.32+00.92_01 | 17:19:30.417 | -35:42:36.14 | O5 | V | ((fc)) | ... | ... | yes | SB1 | 0 | 4.3.2.1 | ch | 2 |
| HDE 319 703 BaBb | GOS 351.03+00.66_01 | 17:19:45.050 | -36:05:47.00 | O6 | V | ((f))z | ... | ... | yes | ... | 1-4 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HDE 319 703 A | GOS 351.03+00.65_01 | 17:19:46.156 | -36:05:52.37 | O7 | V | ((f))z | ... | ... | yes | SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HDE 319 703 D | GOS 351.03+00.64_01 | 17:19:48.945 | -36:06:02.96 | O9.5: | V | n | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| HDE 319 702 | GOS 351.35+00.61_01 | 17:20:50.609 | -35:51:45.97 | O8 | III | ... | ... | ... | yes | SB3E | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 156 738 | GOS 351.18+00.48_01 | 17:20:52.656 | -36:04:20.54 | O6.5 | III | (f) | ... | ... | yes | ... | 0-1 | 4.3.3 | ... | 2 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P | |
|----------------|---------------------|--------------|--------------|-------|--------|---------|------------------------|------------------------------|-----|-----|----------|-------|---------|-----|---|
| Pismis 24-10 | GOS 353.13+00.90_01 | 17:24:36.050 | -34:14:00.30 | O9 | V | ... | ... | ... | ... | ... | 1 | 4.3.3 | new | 2 | |
| ALS 17 696 | GOS 353.15+00.88_01 | 17:24:42.325 | -34:13:21.43 | O7.5: | V | ... | ... | ... | ... | ... | 0-4 | 4.3.3 | new | 2 | |
| Pismis 24-2 | GOS 353.16+00.89_01 | 17:24:43.313 | -34:12:44.15 | O5 | V | ((f)) | ... | ... | ... | ... | 0-2 | 4.3.3 | new | 2 | |
| Pismis 24-1 AB | GOS 353.17+00.89_01 | 17:24:43.500 | -34:11:56.96 | O3.5 | I | f* | ... | O3.5 If* + O4 III(f) | Mo7 | yes | SB2E | 1-2 | 4.3.2.8 | ... | 2 |
| Pismis 24-17 | GOS 353.17+00.89_02 | 17:24:44.700 | -34:12:02.00 | O3.5 | III | (f*) | ... | ... | ... | ... | 3-6 | 4.3.3 | ... | 2 | |
| ALS 16 052 | GOS 353.20+00.91_01 | 17:24:45.777 | -34:09:39.86 | O6 | V | ((f))z | ... | ... | ... | ... | 0-2 | 4.3.3 | new | 2 | |
| HD 157 857 | GOS 012.97+13.31_01 | 17:26:17.332 | -10:59:34.79 | O6.5 | II | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 | |
| HD 158 186 | GOS 355.91+01.60_01 | 17:29:12.925 | -31:32:03.44 | O9.5 | V | (n) | ... | ... | ... | yes | SB2+SB1E | 1-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 159 176 | GOS 355.67+00.05_01 | 17:34:42.491 | -32:34:53.97 | O7 | V | ((f)) | O7 V((f)) | O7 V((f)) + O7 V((f)) | Lo7 | yes | SB2E | 2-4 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 161 853 | GOS 358.42-01.88_01 | 17:49:16.559 | -31:15:18.07 | O8 | V | (n)z | B | ... | ... | yes | SB3? | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 161 807 | GOS 351.78-05.85_01 | 17:49:24.753 | -38:59:01.63 | O9.7 | III | nn | ... | ... | ... | ... | SBE | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| 63 Oph | GOS 004.54+00.30_01 | 17:54:54.042 | -24:53:13.55 | O8 | II | ((f)) | ... | ... | ... | yes | ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 163 800 | GOS 007.05+00.69_01 | 17:58:57.259 | -22:31:03.17 | O7.5 | III | ((f)) | ... | ... | ... | yes | ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 163 892 | GOS 007.15+00.62_01 | 17:59:26.312 | -22:28:00.87 | O9.5 | IV | (n) | ... | ... | ... | yes | SB1 | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 163 758 | GOS 355.36-06.10_01 | 17:59:28.367 | -36:01:15.58 | O6.5 | Ia | fp | ... | ... | ... | yes | SB2 | 1-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 164 019 | GOS 001.91-02.62_01 | 18:00:19.956 | -28:37:14.66 | O9.5 | IV | p | ... | ... | ... | yes | ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 164 438 | GOS 010.35+01.79_01 | 18:01:52.279 | -19:06:22.07 | O9.2 | IV | ... | ... | ... | ... | ... | SB1 | 0 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| HD 164 492 A | GOS 007.00-00.25_01 | 18:02:23.553 | -23:01:51.06 | O7.5 | V | z | ... | ... | ... | yes | SB1? | 1-5 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 164 536 | GOS 005.96-00.91_01 | 18:02:38.619 | -24:15:19.38 | O7.5 | V | (n)z | ... | ... | ... | ... | ... | 1-4 | 4.3.3 | new | 2 |
| Herschel 36 | GOS 005.97-01.17_01 | 18:03:40.333 | -24:22:42.74 | O7: | V | ... | sec | O7.5 V + O9 V + B0.5 V | A10 | yes | SB2+SB1 | 9-19 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| 9 Sgr | GOS 006.01-01.20_01 | 18:03:52.446 | -24:21:38.64 | O4 | V | ((f))z | ... | O3.5 V((f*)) + O5-5.5 V((f)) | R12 | yes | SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 164 816 | GOS 006.06-01.20_01 | 18:03:56.843 | -24:18:45.11 | O9.5 | V | ... | Bo V | ... | ... | ... | SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 165 174 | GOS 029.27+11.29_01 | 18:04:37.358 | +01:55:08.37 | O9.7 | II | n | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 165 052 | GOS 006.12-01.48_01 | 18:05:10.551 | -24:23:54.85 | O5.5: | V | z | O8: V | O7 Vz + O7.5 Vz | F13 | yes | SB2 | 0-2 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HDE 313 846 | GOS 007.36-00.85_01 | 18:05:25.737 | -23:00:20.35 | O7: | Ia | fpe | ... | ... | ... | yes | ... | 0-2 | 4.3.2.7 | ... | 2 |
| HD 165 319 | GOS 015.12+03.33_01 | 18:05:58.838 | -14:11:53.01 | O9.7 | Ib | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| HD 165 246 | GOS 006.40-01.56_01 | 18:06:04.679 | -24:11:43.88 | O8 | V | (n) | ... | O8 V + B7 V | M13 | yes | SB2E | 1-3 | 4.3.2.8 | ... | 2 |
| HD 165 921 | GOS 006.94-02.10_01 | 18:09:17.700 | -23:59:18.25 | O7 | V | (n)z | Bo: V: | O7 V + O9 V | N88 | yes | SB2E | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| HD 166 546 | GOS 010.36-00.92_01 | 18:11:57.099 | -20:25:24.16 | O9.5 | IV | ... | ... | ... | ... | yes | ... | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 166 734 | GOS 018.92+03.63_01 | 18:12:24.656 | -10:43:53.03 | O7.5 | Iab | f | ... | O7 Ib(f) + O8-9 I | W73 | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| 15 Sgr | GOS 010.46-01.74_01 | 18:15:12.905 | -20:43:41.76 | O9.7 | Iab | ... | ... | ... | ... | yes | ... | 1 | 4.3.3 | ... | 2 |
| 16 Sgr AaAb | GOS 010.76-01.58_01 | 18:15:12.970 | -20:23:16.69 | O9.5 | III | ... | ... | ... | ... | yes | SB1 | 1-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 167 411 | GOS 012.72-00.70_01 | 18:15:55.747 | -18:14:27.06 | O9.7 | II | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 167 633 | GOS 014.34-00.07_01 | 18:16:49.656 | -16:31:04.30 | O6.5 | V | ((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 167 659 | GOS 012.20-01.27_01 | 18:16:58.562 | -18:58:05.20 | O7 | II-III | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 167 771 | GOS 012.70-01.13_01 | 18:17:28.556 | -18:27:48.43 | O7 | III | ((f)) | O8 III | ... | ... | ... | SB2 | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| BD -12 4979 | GOS 018.25+01.69_01 | 18:18:03.112 | -12:14:34.28 | O9.5 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|-----------------|---------------------|--------------|--------------|-------|--------|-----------|---------|------------------------------|------|-----|-----|-----|---------|------|---|
| BD -11 4586 | GOS 019.08+02.14_01 | 18:18:03.344 | -11:17:38.83 | O8 | Ib | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| MY Ser | GOS 018.25+01.68_01 | 18:18:05.895 | -12:14:33.30 | O8 | Ia | f(n) | O4/5 | O8 I + O5-8 V + O5-8 V | L87 | ... | ... | ... | 4.3.2.3 | ch | 1 |
| HD 168 075 | GOS 016.94+00.84_01 | 18:18:36.043 | -13:47:36.46 | O7 | V | (n)((f))z | ... | O6.5 V((f)) + Bo 1V | So9 | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| HD 168 076 AB | GOS 016.94+00.84_02 | 18:18:36.421 | -13:48:02.38 | O4 | III | (f) | ... | O3.5 V((f+)) + O7.5 V | So9 | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| BD -13 4927 | GOS 016.98+00.85_01 | 18:18:40.091 | -13:45:18.58 | O7 | II | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 168 112 | GOS 018.44+01.62_01 | 18:18:40.868 | -12:06:23.38 | O5 | III | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| HD 168 941 | GOS 005.82-06.31_01 | 18:23:25.562 | -26:57:10.83 | O9.5 | IV | p | ... | ... | ... | yes | ... | 0-2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 169 582 | GOS 021.33+01.20_01 | 18:25:43.147 | -09:45:11.02 | O6 | Ia | f | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 171 589 | GOS 018.65-03.09_01 | 18:36:12.640 | -14:06:55.82 | O7.5 | II | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| V442 Sct | GOS 024.53-00.85_01 | 18:39:03.776 | -07:51:35.44 | O6.5 | I | (n)fp | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.3 | ch | 1 |
| HD 173 010 | GOS 023.73-02.49_01 | 18:43:29.710 | -09:19:12.60 | O9.7 | Ia | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| HD 173 783 | GOS 024.18-03.34_01 | 18:47:24.183 | -09:18:29.50 | O9 | Iab | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 175 754 | GOS 016.39-09.92_01 | 18:57:35.709 | -19:09:11.25 | O8 | II | (n)((f))p | ... | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.2.3 | ch | 2 |
| HD 175 876 | GOS 015.28-10.58_01 | 18:58:10.765 | -20:25:25.53 | O6.5 | III | (n)(f) | ... | ... | ... | yes | ... | 0 | 4.3.3 | ... | 2 |
| HDE 344 783 | GOS 059.37-00.15_01 | 19:43:06.790 | +23:16:12.40 | O9.7 | III | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| HDE 344 782 | GOS 059.40-00.14_01 | 19:43:08.900 | +23:18:08.00 | O9.5 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| HDE 344 784 A | GOS 059.40-00.15_01 | 19:43:10.970 | +23:17:45.38 | O6.5 | V | ((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 186 980 | GOS 067.39+03.66_01 | 19:46:15.902 | +32:06:58.16 | O7.5 | III | ((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| HD 188 209 | GOS 080.99+10.09_01 | 19:51:59.068 | +47:01:38.44 | O9.5 | Iab | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| 9 Sge | GOS 056.48-04.33_01 | 19:52:21.765 | +18:40:18.75 | O7.5 | Iab | f | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| Cyg X-1 | GOS 071.34+03.07_01 | 19:58:21.678 | +35:12:05.81 | O9.7 | Iab | p var | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 189 957 | GOS 077.43+06.17_01 | 20:01:00.005 | +42:00:30.83 | O9.7 | III | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 190 429 A | GOS 072.59+02.61_01 | 20:03:29.393 | +36:01:30.53 | O4 | I | f | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 190 429 B | GOS 072.58+02.61_01 | 20:03:29.410 | +36:01:28.58 | O9.5 | II-III | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| HD 190 864 | GOS 072.47+02.02_01 | 20:05:39.800 | +35:36:27.98 | O6.5 | III | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| HD 191 201 A | GOS 072.75+01.78_01 | 20:07:23.684 | +35:43:05.91 | O9.5 | III | ... | Bo IV | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| HD 191 201 B | GOS 072.75+01.78_02 | 20:07:23.766 | +35:43:06.01 | O9.7 | III | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| HD 191 423 | GOS 078.64+05.37_01 | 20:08:07.113 | +42:36:21.98 | ON9 | II-III | nn | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.2 | ch | 1 |
| HD 191 612 | GOS 072.99+01.43_01 | 20:09:28.608 | +35:44:01.31 | O8 | ... | f?p var | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.4 | ch | 1 |
| HD 191 781 | GOS 081.18+06.61_01 | 20:09:50.581 | +45:24:10.44 | ON9.7 | Iab | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.2 | ... | 1 |
| HD 191 978 | GOS 077.87+04.25_01 | 20:10:58.281 | +41:21:09.91 | O8 | V | z | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 192 001 | GOS 078.53+04.66_01 | 20:11:01.706 | +42:07:36.39 | O9.5 | IV | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| HD 192 281 | GOS 077.12+03.40_01 | 20:12:33.121 | +40:16:05.45 | O4.5 | V | (n)((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | 0-1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 192 639 | GOS 074.90+01.48_01 | 20:14:30.429 | +37:21:13.83 | O7.5 | Iab | f | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HDE 228 766 | GOS 075.19+00.96_01 | 20:17:29.703 | +37:18:31.13 | O4 | I | f | O8: II: | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| HD 193 322 AaAb | GOS 078.10+02.78_01 | 20:18:06.977 | +40:43:55.40 | O9 | IV | (n) | ... | O9 Vnn + O8.5 III + B2.5: V: | T11 | ... | SB3 | 2 | 4.3.2.8 | ... | 2 |
| HDE 228 841 | GOS 076.60+01.68_01 | 20:18:29.692 | +38:52:39.76 | O6.5 | V | n((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|-----------------|---------------------|--------------|--------------|-------|------|-----------|----------------|-------------------------|------|-----|------|-----|---------|------|---|
| HD 193 443 AB | GOS 076.15+01.28_01 | 20:18:51.707 | +38:16:46.50 | O9 | III | ... | ... | O9 III/I + O9.5 V/III | M13 | ... | SB2 | 1-3 | 4.3.2.8 | ... | 2 |
| HD 193 514 | GOS 077.00+01.80_01 | 20:19:08.498 | +39:16:24.23 | O7 | Ib | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| HDE 229 196 | GOS 078.76+02.07_01 | 20:23:10.787 | +40:52:29.85 | O6 | II | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HDE 229 232 | GOS 077.40+00.93_01 | 20:23:59.183 | +39:06:15.27 | O4 | V | n((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| BD +36 4063 | GOS 076.17-00.34_01 | 20:25:40.608 | +37:22:27.08 | ON9.7 | Ib | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.2 | ch | 1 |
| HD 195 592 | GOS 082.36+02.96_01 | 20:30:34.970 | +44:18:54.87 | O9.7 | Ia | ... | ... | O9.7 I + B | D10 | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ... | 1 |
| Cyg OB2-4 | GOS 080.22+01.02_01 | 20:32:13.823 | +41:27:11.99 | O7 | III | ((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| Cyg OB2-5 A | GOS 080.12+00.91_01 | 20:32:22.422 | +41:18:18.91 | O7 | Ia | fpe | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| Cyg OB2-22 A | GOS 080.14+00.75_01 | 20:33:08.767 | +41:13:18.74 | O3 | I | f* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| Cyg OB2-22 B | GOS 080.14+00.75_02 | 20:33:08.842 | +41:13:17.48 | O6 | V | ((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| V2185 Cyg | GOS 080.14+00.74_01 | 20:33:09.600 | +41:13:00.60 | O9.5 | III | n | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| Cyg OB2-9 | GOS 080.17+00.76_01 | 20:33:10.734 | +41:15:08.25 | O4.5 | I | f | ... | O5-5.5 I + O3-4 III | N12 | ... | SB2 | 0 | 4.3.2.8 | ch | 2 |
| Cyg OB2-7 | GOS 080.24+00.80_01 | 20:33:14.112 | +41:20:21.88 | O3 | I | f* | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| Cyg OB2-8 B | GOS 080.22+00.79_02 | 20:33:14.756 | +41:18:41.79 | O6 | II | (f) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| Cyg OB2-8 A | GOS 080.22+00.79_01 | 20:33:15.078 | +41:18:50.51 | O6 | Ib | (fc) | O4.5: III:(fc) | O6 + O5.5 | Do4 | ... | SB2 | 2-3 | 4.3.2.1 | ch | 2 |
| Cyg OB2-8 D | GOS 080.23+00.79_01 | 20:33:16.328 | +41:19:02.01 | O8.5 | V | (n) | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.3 | ch | 2 |
| NSV 13 148 | GOS 080.21+00.76_01 | 20:33:17.480 | +41:17:09.30 | O8 | V | (n) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| Cyg OB2-8 C | GOS 080.23+00.78_01 | 20:33:17.977 | +41:18:31.19 | O4.5 | ... | (fc)p var | ... | ... | ... | ... | SB2? | 0 | 4.3.2.1 | ch | 2 |
| Cyg OB2-11 | GOS 080.57+00.83_01 | 20:34:08.514 | +41:36:59.42 | O5.5 | I | fc | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.1 | ch | 1 |
| Y Cyg | GOS 077.25-06.23_01 | 20:52:03.577 | +34:39:27.51 | O9.5 | IV | ... | O9.5 IV | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| HD 199 579 | GOS 085.70-00.30_01 | 20:56:34.779 | +44:55:29.01 | O6.5 | V | ((f))z | ... | O6 V((f)) + B1-2 V | Wo1 | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| HD 201 345 | GOS 078.44-09.54_01 | 21:07:55.416 | +33:23:49.25 | ON9.2 | IV | ... | ... | ... | ... | ... | SB2? | 0-1 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| I Cep AaAb | GOS 098.52+07.99_01 | 21:11:48.235 | +59:59:11.79 | O9.5 | IV | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 2 | 4.3.3 | new | 2 |
| HD 202 124 | GOS 087.29-02.66_01 | 21:12:28.389 | +44:31:54.14 | O9 | Iab | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| 68 Cyg | GOS 087.61-03.84_01 | 21:18:27.187 | +43:56:45.40 | O7.5 | III | n((f)) | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 204 827 AaAb | GOS 099.17+05.55_01 | 21:28:57.763 | +58:44:23.20 | O9.5 | IV | ... | ... | ... | ... | ... | SB1? | 2-3 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 206 183 | GOS 098.89+03.40_01 | 21:38:26.284 | +56:58:25.45 | O9.5 | IV-V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| HD 206 267 AaAb | GOS 099.29+03.74_01 | 21:38:57.618 | +57:29:20.55 | O6.5 | V | ((f)) | O9/Bo V | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| HD 207 198 | GOS 103.14+06.99_01 | 21:44:53.278 | +62:27:38.05 | O8.5 | II | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 1 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 207 538 | GOS 101.60+04.67_01 | 21:47:39.790 | +59:42:01.35 | O9.7 | IV | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | new | 1 |
| HD 209 339 | GOS 104.58+05.87_01 | 22:00:39.266 | +62:29:16.08 | O9.7 | IV | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 1 | 4.3.3 | new | 2 |
| LZ Cep | GOS 102.01+02.18_01 | 22:02:04.576 | +58:00:01.33 | O9 | IV | (n) var | B1: V: | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.8 | ch | 1 |
| 19 Cep | GOS 104.87+05.39_01 | 22:05:08.791 | +62:16:47.35 | O9 | Ib | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| λ Cep | GOS 103.83+02.61_01 | 22:11:30.584 | +59:24:52.25 | O6.5 | I | (n)fp | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.3 | ch | 1 |
| HD 210 809 | GOS 099.85-03.13_01 | 22:11:38.601 | +52:25:47.95 | O9 | Iab | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| 10 Lac | GOS 096.65-16.98_01 | 22:39:15.679 | +39:03:01.01 | O9 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ... | 1 |
| DH Cep | GOS 107.07-00.90_01 | 22:46:54.111 | +58:05:03.55 | O5.5 | V | ((f)) | O6 V((f)) | O5.5 III(f) + O6 III(f) | B97 | ... | SB2E | 0-1 | 4.3.2.8 | ch | 2 |

| Name | GOSSS ID | R.A. (J2000) | SC | LC | Qual. | Second. | Altern. Classification | Ref. | S. | SB | VB | Sect. | Flag | P |
|--------------|---------------------|--------------|--------------|------|-------|----------|------------------------|------|-----|-----|-----|---------|------|---|
| HD 216 532 | GOS 109.65+02.68_01 | 22:52:30.555 | +62:26:25.92 | O8.5 | V | (n) | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 216 898 | GOS 109.93+02.39_01 | 22:55:42.460 | +62:18:22.83 | O9 | V | ... | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.3 | ch | 1 |
| HD 217 086 | GOS 110.22+02.72_01 | 22:56:47.194 | +62:43:37.60 | O7 | V | nn((f))z | ... | ... | ... | ... | 2 | 4.3.3 | ch | 2 |
| HD 218 195 A | GOS 109.32-01.79_01 | 23:05:12.928 | +58:14:29.34 | O8.5 | III | Nstr | ... | ... | ... | ... | 2 | 4.3.2.2 | ch | 2 |
| HD 218 915 | GOS 108.06-06.89_01 | 23:11:06.948 | +53:03:29.64 | O9.2 | Iab | ... | ... | ... | ... | ... | 0 | 4.3.1.4 | ch | 2 |
| BD +60 2522 | GOS 112.23+00.22_01 | 23:20:44.519 | +61:11:40.53 | O6.5 | ... | (n)fp | ... | ... | ... | ... | ... | 4.3.2.3 | ch | 1 |

Tabla 19: Clasificaciones espectrales. **Notas:** "GOSSS ID" es la identificación de cada estrella (GOS = Galactic O Star). **"Ref."** es la referencia para la clasificación alternativa. **"Sect."** es la sección donde se discute la estrella. **"Flag"** puede ser "ch" (clasificación de tipo O cambiada de Maíz Apellániz et al. 2004) o "new" (estrella no presente o no de tipo O en Maíz Apellániz et al. 2004). **"S."** marca las estrellas que pertenecen a la muestra de binarias. **SB** y **VB** son el estado binario espectroscópico y visual, respectivamente. **Referencias.** A01: Albacete Colombo et al. (2001), A02: Albacete Colombo et al. (2002), A10: Arias et al. (2010), B07: Boyajian et al. (2007), B91: Bagnuolo y Gies (1991), B97: Burkholder et al. (1997), C07: Campillay et al. (2007), D04: De Becker et al. (2004), D06: De Becker et al. (2006), D10: De Becker et al. (2010), F01: Freyhammer et al. (2001), F13: Ferrero et al. (2013), G02: Gies et al. (2002), G93: Gies et al. (1993), G94: Gies et al. (1994), H02: Harvin et al. (2002), H06: Hillwig et al. (2006), H94: Hill et al. (1994), L07: Linder et al. (2007), L08: Linder et al. (2008), L87: Leitherer et al. (1987), M01: Morrell et al. (2001), M03: McSwain (2003), M07: Maíz Apellániz et al. (2007), M09: Mahy et al. (2009), M10: Mahy et al. (2010), M12: Mahy et al. (2012), M13: Mayer et al. (2013), N05: Nazé et al. (2005), N06: Niemelä et al. (2006), N12: Nazé et al. (2012b), N88: Niemelä y Morrison (1988), P01: Penny et al. (2001), P02: Penny et al. (2002), P11: Parkin et al. (2011), R00: Rauw et al. (2000), R01a: Rauw et al. (2001a), R01b: Rauw et al. (2001b), R09: Rauw et al. (2009), R12: Rauw et al. (2012), S08: Sana et al. (2008), S09: Sana et al. (2009), S11: Sana et al. (2011a), S11: Simón-Díaz et al. (2011a), S87: Stickland et al. (1987), T11: ten Brummelaar et al. (2011), W01: Williams et al. (2001), W73: Walborn (1973b). **"P."** Espectro publicado en (1) Sota et al. 2011 o (2) Sota et al. 20

4.4 Análisis

4.4.1 Selección de la muestra y completitud

La definición de una estrella O es puramente espectroscópica: es una estrella que muestra He II $\lambda 4542$ en absorción y, si está presente la absorción de Si III $\lambda 4552$ (como ocurre con las estrellas O tardías), tiene que ser igual o más débil que He II $\lambda 4542$ (ver Tabla 16). Algunas estrellas de baja masa pueden mostrar esas características al final de sus vidas (como las sdO, PAGB o PNN), pero se excluyen específicamente de nuestra muestra, ya que nuestro interés radica en el estudio de estrellas masivas (véase Drilling et al., 2013 para la clasificación espectral de objetos sdO). Las estrellas con masas superiores a $20 M_{\odot}$ pasan la mayor parte de su vida como estrellas O, por lo que utilizar el criterio de selección de estrellas tipo O proporciona la forma más directa de elegir una muestra grande y uniforme de estrellas masivas. Las principales objeciones que se pueden hacer a este estricto criterio para estudiar estrellas masivas son que (1) estamos excluyendo las últimas etapas de la evolución estelar, (2) el límite entre las estrellas O y las estrellas que no son O, no es un límite fijo en T_{eff} , y (3) la multiplicidad y la rotación pueden complicar la definición de lo que es una estrella O.

1. La primera objeción es válida y siempre se debe tener en cuenta que no se deben identificar estrellas masivas exclusivamente con estrellas O. Para tener una imagen completa, también se deben estudiar las estrellas B con vida relativamente corta y de alta luminosidad, las supergigantes de cualquier tipo (incluidas las LBV) y las estrellas WR. Si queremos extender el límite de masa inferior a las estrellas que explotan como supernovas por colapso del núcleo, también deberíamos incluir las estrellas que son de tipos espectrales B0-B2.5 durante su vida de secuencia principal.
2. El límite de T_{eff} entre los tipos espectrales O y B depende no solo de la clase de luminosidad (para el mismo subtipo, una supergigante es más fría que una enana) sino también de la metalicidad. La línea de Si III $\lambda 4552$ se debilita cuando disminuye la metalicidad, por lo que una estrella O9.7 con baja metalicidad tendrá una T_{eff} inferior a una con la metalicidad solar. Por lo tanto, hay que tener en cuenta esos efectos al considerar cuánto de su vida consume una estrella masiva como una estrella O utilizando trayectorias evolutivas
3. La multiplicidad es un problema omnipresente en las estrellas masivas, como destacan los resultados de esta tesis. Probablemente, nada complica más la determinación del tipo espectral de una estrella O, forzando el uso de espectroscopía de múltiples épocas e imágenes de alta resolución para establecer cuántos objetos se están mirando y si un tipo espectral directo derivado de una única observación puede ser confiable (es posible que algunas estrellas clasificadas como B0 sean en realidad, por ejemplo, binarias O9.7 + B0.2 aún no descubiertas). La rotación rápida también complica la identificación de estrellas O como tales, como lo demuestran algunos de los ejemplos en GOSSS (por ejemplo, HD 161 807). Esto ocurre porque en el límite O-B, He II $\lambda 4542$ y Si III $\lambda 4552$ son relativamente débiles y están muy juntos, por lo que en un rotador rápido pueden fusionarse o diluirse hasta el punto de ser difíciles de identificar. A este respecto, una herramienta como MGB se vuelve bastante útil ya que amplía artificialmente los espectros estándar para una comparación más adecuada. Finalmente, la multiplicidad también puede conducir a

interacciones, que pueden alterar los espectros observados e incluso cambiar el destino de la estrella.

GOSSS tiene como objetivo construir una colección de espectros de estrellas O ópticamente observables tan completa como sea posible. Esto implica observar muchas candidatas que resultan ser estrellas no O a posteriori, así como una pequeña fracción de estrellas masivas que se sabe a priori que no son O, pero que son necesarias para establecer un conocimiento adecuado del resto de los espectros. Más específicamente, un objeto se incluye en la muestra de GOSSS si está dentro del rango de magnitud accesible y:

1. Ha recibido previamente una clasificación de tipo O por algún autor (criterio principal).
2. Ha recibido previamente una clasificación como Bo por algún autor (criterio de proximidad espectral).
3. Se encuentra a $3'$ de otra estrella en la muestra y tiene un ΔB lo suficientemente pequeño para permitir que se observen las dos estrellas dentro de la rendija (criterio de proximidad espacial u oportunidad).
4. Es una estrella conocida o sospechosa de tipo temprano de una categoría pequeña interesante (criterio de "zoológico").
5. La información adicional como la membresía del grupo, la fotometría o los datos de rayos X sugieren que puede ser una estrella O (el "otro" criterio).
6. Es una estándar conocida o potencial para la clasificación espectral de tipo temprano (criterio estándar).

El objetivo es lograr la completitud en las dos primeras categorías hasta una cierta magnitud B . La mayoría de los objetos ($\sim 90\%$) observados hasta ahora en el sondeo pertenecen a las primeras tres categorías. En esta tesis solo se presentan los objetos que resultan ser estrellas O.

Dados los criterios de selección, la muestra GOSSS-DR1.1 es algo heterogénea y abarca un amplio rango en magnitud (Figura 34). Sin embargo, nos hemos concentrado en observar todos los objetos con $B_{\text{ap}} < 8$ y 175 (de ahora en adelante, la muestra brillante) del total de 448 (en adelante, la muestra completa) están dentro de ese rango. Creemos que la muestra de estrellas O en GOSSS-DR1.1 es bastante completa hasta esa magnitud, dado que la mayoría de las estrellas brillantes se han clasificado anteriormente y que la tendencia es tener más estrellas no-O clasificadas como O que al contrario y que la mayoría de las estrellas O omitidas habían sido previamente clasificadas como Bo (Maíz Apellániz et al., 2013), por lo que se incluyen en la muestra de GOSSS. El proyecto sigue evaluando la integridad de la muestra buscando fuentes adicionales en la literatura y, a largo plazo, mediante el uso de métodos fotométricos para seleccionar candidatas a estrella O (Maíz Apellániz y Sota 2008; Maíz Apellániz 2013). Esa solución se volverá más necesaria a medida que nos adentramos en magnitudes más débiles, donde la mayoría de las estrellas nunca han sido clasificadas antes. Hay 175 sistemas con $B_{\text{ap}} < 8$ que contienen una estrella O, pero esa no es la cantidad total de estrellas O individuales dentro de ese rango de magnitud porque algunas de ellas contienen

dos o más O estrellas sin resolver. Una entrada en GOSSS puede tener dos o más estrellas O individuales debido a la multiplicidad.

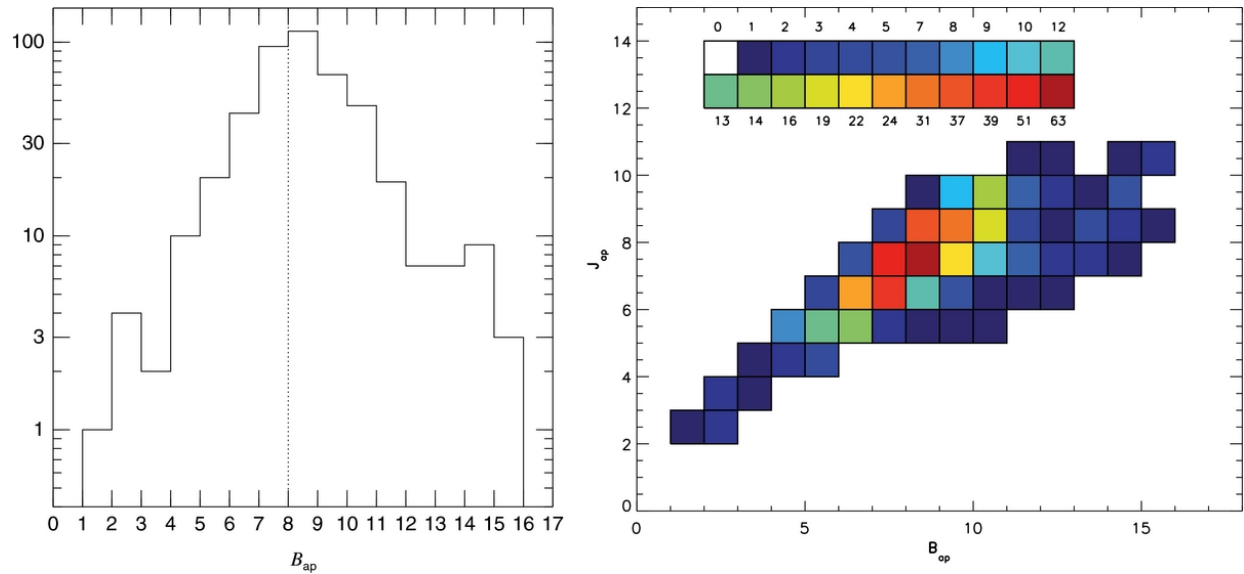


Figura 34: (Izquierda) Histograma de B_{ap} y (derecha) Diagrama de densidad de B_{ap} - J_{ap} para las estrellas en GOSSS-DR1.1. La línea punteada en el panel izquierdo marca el límite de completitud esperado en GOSSS-DR1.1.

4.4.2 Distribuciones espacial y por magnitud

El histograma de B_{ap} en la Figura 34 muestra que la densidad numérica por unidad de magnitud en función de B_{ap} para $B_{ap} < 8$ crece aproximadamente en $10^{\alpha B_{ap}}$, con α ligeramente por debajo de 0.4, el valor esperado para una distribución espacial de disco uniforme sin extinción. Más allá de $B_{ap} = 8$, se espera que la extinción y la disminución de la densidad espacial (especialmente hacia el exterior de la galaxia) doblen la distribución por debajo del comportamiento extrapolado de las magnitudes brillantes (Maíz Apellániz et al., 2013), pero incluso teniendo en cuenta ese efecto, es obvio que la muestra GOSSS-DR1.1 ya es muy incompleta en el rango $B_{ap} = 9-10$.

El diagrama de densidad y magnitud en la Figura 34 también refleja el efecto de la extinción. Las estrellas cercanas tienen valores B_{ap} - J_{ap} cercanos a los valores sin extinguir (entre -1.0 y -0.7), agrupados cerca de la línea $B_{ap}=J_{ap}$. A medida que se incluyen más estrellas distantes, se vuelven más tenues en J_{ap} , pero aún más en B_{ap} debido al enrojecimiento. Por lo tanto, en el diagrama de densidad se concentran alrededor de $J_{ap} \sim 8$.

En Maíz Apellániz et al. (2013) se ha evaluado el número de sistemas con estrellas O en la muestra de GOSSS-DR1.1 incluyendo otros sistemas adicionales con $B_{ap} \geq 8$ ya observados por GOSSS. Usando un modelo simple para evaluar el número de sistemas de tipo O en la Galaxia, la conclusión es que, como mínimo, existen entre 14000 y 18000 sistemas de este tipo en la Vía Láctea. Permitir efectos como el gradiente de densidad radial en la Galaxia, las binarias espectroscópicas (que se cuentan una sola vez), los sistemas WR + O y la extinción irregular pueden elevar este número a 30000-50000 estrellas O individuales. Esos números

se pueden comparar con las 6500 estrellas WR Galácticas estimadas (van der Hucht 2001, Shara et al. 2009) y son más o menos consistentes en términos de las trazas evolutivas esperadas y los tiempos de vida relativos de cada fase.

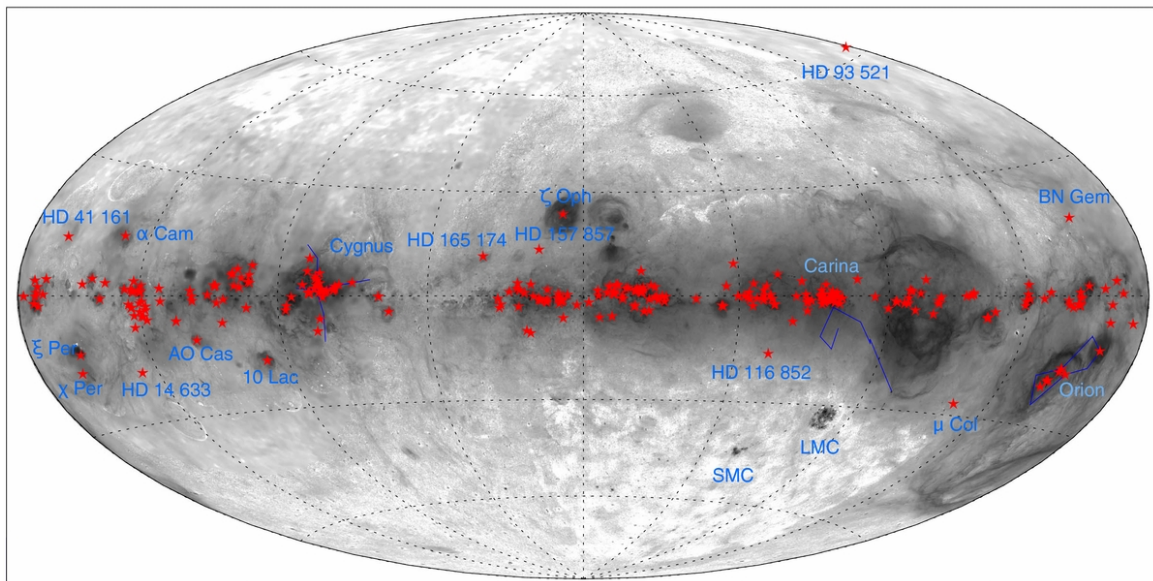


Figura 35. Distribución espacial de la muestra GOSSS-DR1.1 en coordenadas Galácticas. La imagen de fondo es el mapa de cielo completo H α de Finkbeiner (2003). Algunas regiones del cielo y las estrellas ubicadas lejos del plano galáctico están etiquetadas.

La Figura 35 muestra la distribución en el cielo de la muestra GOSSS-DR1.1 y la Figura 36 muestra los histogramas de latitud y longitud. La distribución de latitud es significativamente más irregular para la muestra brillante que para la completa. Este efecto es causado por las estrellas fuera del plano, que se concentran en la muestra brillante y en el hemisferio sur (de ahí, la diferencia relativamente grande entre las latitudes media y mediana de la muestra brillante). En particular, la estructura clásica del cinturón de Gould se ve claramente en la dirección del anticentro, pero no así hacia el Centro Galáctico (donde solo tres estrellas O, ζ Oph, HD 157 857 y HD 165 174 están claramente por encima del plano). Esta es la misma asimetría detectada en la población de cúmulos por Elías et al. (2009). Ambas muestras tienen valores negativos para sus latitudes medias y medianas, un signo de la ubicación del Sol sobre el plano galáctico, detectado para estrellas de tipo temprano con mediciones de Hipparcos (Maíz Apellániz 2001; Maíz Apellániz et al., 2008a).

En el histograma de longitud, las asociaciones OB más grandes (o grupos de ellas) son fácilmente identificables. Además, Aquila Rift y sus alrededores son notorios en ese histograma, ya que no hay estrellas GOSSS-DR1.1 entre longitudes de 30 y 55 grados. Las diferencias entre las dos muestras son notables. Carina representa el pico más grande en la muestra completa, pero es difícil de identificar en la muestra brillante, como se espera para una región moderadamente distante y extinta. Contrastes similares se observan para Cygnus y Cassiopeia-Perseus. En el otro extremo, Orion-Monoceros domina los dos cuadrantes galácticos externos en la muestra brillante debido a su proximidad y baja extinción.

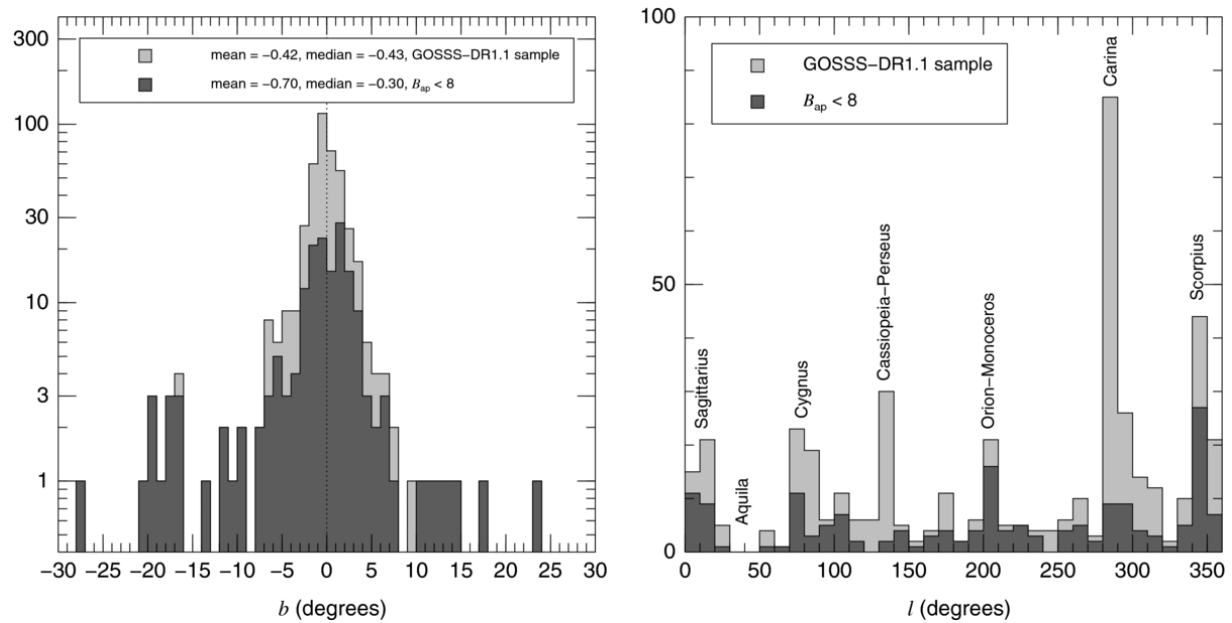


Figura 36. Histogramas de latitud Galáctica (izquierda) y longitud (derecha) para las muestras completas y brillantes. HD 93 521 está fuera del rango en el panel izquierdo (vea la Figura 35). Algunas regiones están etiquetadas en el panel derecho.

4.4.3 Estadísticas de clasificación espectral

La Tabla 20 muestra la distribución por subtipos espectrales y clases de luminosidad en GOSSS-DR1.1. Las clases de luminosidad Ia, Iab, Ib, II y IV no están definidas para O2-O5.5. Además, en ese rango, todas las supergigantes simplemente se denominan I. Las estrellas O de la muestra están muy concentradas hacia las clases de luminosidad III-V, aunque los sesgos de selección favorecen a las supergigantes. La concentración de enanas O hacia los subtipos espectrales medios es un probable efecto de selección, ya que las enanas de tipo tardío son más débiles y tienden a ser menos llamativas en sus características espectrales y su efecto ionizante. La proporción entre los subtipos medio y tardío se invierte para las clases de luminosidad más brillantes, como se esperaba al eliminar ese efecto de selección y la disminución de la masa estelar inicial en función del subtipo espectral para una clase de luminosidad constante. Será interesante comparar la Tabla 20 con las futuras versiones de datos de GOSSS, donde se incluirá una fracción más grande de estrellas más débiles.

| | O2-3.5 | O4-5.5 | O6-7.5 | O8-8.5 | O9-9.2 | O9.5-9.7 | Total |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|
| Ia | ... | ... | 8 | 4 | 2 | 3 | 17 |
| I/Iab | 7 | 13 | 7 | 4 | 8 | 10 | 49 |
| Ib | ... | ... | 7 | 3 | 7 | 7 | 24 |
| II | ... | ... | 9 | 4 | 3 | 14 | 30 |
| III | 1 | 8 | 17 | 11 | 12 | 22 | 71 |
| IV | ... | ... | 10 | 6 | 17 | 25 | 58 |
| V | 4 | 24 | 65 | 38 | 15 | 21 | 167 |
| otras | 0 | 2 | 7 | 6 | 4 | 13 | 32 |
| Total | 12 | 47 | 130 | 76 | 68 | 115 | 448 |

Tabla 20. Distribución por subtipos espectrales y clases de luminosidad en GOSSS-DR1.1

Notas: La categoría "otras" incluye la clase Of?p y estrellas sin clasificaciones precisas de luminosidad.

Otro tema estadístico interesante con respecto a la muestra de GOSSS fue presentado por Maíz Apellániz et al. (2013). La tasa de falsos positivos en una muestra de 1014 estrellas previamente clasificadas como de tipo O es del 24.9% (es decir, una cuarta parte de esas estrellas aparecen como O en la literatura, pero GOSSS revela que no lo son). Ese número se calculó usando una muestra de 1014 objetos, más grande que en GOSSS-DR1.1 y muestra una clara tendencia con la magnitud: la calidad de las clasificaciones espectrales de la literatura disminuye a medida que las estrellas se vuelven más débiles. Por lo tanto, esperamos que cuando se complete GOSSS, la tasa de falsos positivos sea aún mayor. Por otro lado, la tasa de falsos negativos (estrellas sin clasificaciones previas como O que resultó ser de ese tipo) es 6.4%. Esos objetos se observaron en la mayoría de los casos porque tenían clasificaciones anteriores como Bo o porque podían colocarse dentro de la misma rendija que una estrella O que se estaba observando. Esto indica que todavía hay estrellas O relativamente brillantes esperando ser descubiertas. Hacerlo probablemente requerirá estudios fotométricos a gran escala del plano galáctico (estrellas que no saturan alrededor de magnitud 12 y más brillantes) seguidos de sondeos espectroscópicos con espectrógrafos multi-fibra.

4.4.4 Multiplicidad

4.4.4.1 Muestra

Para estudiar la multiplicidad de estrellas O, nos limitamos a la muestra de 194 estrellas O con $\delta < -20^\circ$ con estudios existentes de alta resolución de varias épocas (principalmente de OWN). La definición de la binariedad espectroscópica es relativamente sencilla, aunque en algunos casos los datos actuales no son concluyentes y la estrella se etiqueta como SB1?, SB2? o SB3? en la Tabla 19. Por esa razón, los sistemas SB1? y SB2? se consideran posibles SB, mientras que los sistemas SB3? (que son sistemas SB2 con un posible tercer componente) y el resto de los objetos etiquetados SB se consideran como ciertos SB. Esto nos da dos estimaciones (baja y alta) para la binariedad espectroscópica de acuerdo con los datos actuales, dependiendo de si incluimos los posibles SB o no. Con respecto al número de componentes en el sistema, los etiquetados como SB1, SB1E, SB2, SB2E y SBE se considera que tiene dos; los etiquetados como SB3 o SB3E, tres; y los etiquetados como SB1 + SBE, SB1E + SB1, SB2 + SB1, SB2 + SB1E o SB2 + SB2, cuatro. Los sistemas SB1? y SB2? tienen una componente cierta y dos posibles, mientras que los sistemas SB3? tienen dos componentes ciertas y tres posibles.

La binariedad visual es más difícil de determinar, ya que en la mayoría de los casos el tiempo de base no es suficiente para establecer una órbita con certeza para poder decir que el sistema está ligado y no es una alineación casual con otra estrella más cercana (de hecho, en muchos casos solo hay una época disponible). Dada la necesidad de analizar una muestra grande, hemos estimado la probabilidad de que una candidata determinada sea una verdadera compañera. Eso es lo que Maíz Apellániz (2010) hizo para su estudio Lucky Imaging de estrellas masivas del norte (principalmente O), en las que comparó el número de componentes detectadas con las esperadas de la densidad de fuentes 2MASS en el área circundante. En ese trabajo se encontró que para las separaciones por debajo de 5" es probable que todos los objetos detectados sean verdaderos acompañantes, mientras que en el rango de 8" - 14" el 78% \pm 6% también lo son. Para una distancia de 1 kpc, 10" corresponden a 10.000 AU. Ese es un valor grande, pero no irracional: Próxima Centauri está a 15000 UA de distancia de α Cen AB y posiblemente ligada a ella (Wertheimer y Laughlin 2006), y es un sistema viejo de baja masa. Se conocen sistemas similares de baja y media masa con separaciones de hasta varios parsecs (Duchêne y Kraus 2013 y referencias en él). Uno esperaría que las estrellas masivas de alta masa y vida corta permanecieran ligadas a grandes distancias en escalas de tiempo de algunos Ma.

Nuestra muestra difiere de la de Maíz Apellániz (2010) en que solo contiene estrellas del Sur y que las compañeras fueron detectadas de manera heterogénea. Sin embargo, las distancias y los tipos espectrales son similares, por lo que el hecho de ser solo del Sur no debería marcar la diferencia. Además, las compañeras más cercanas también deberían estar ligadas en la mayoría de los casos y la mayoría de los objetos entre 5" y 10" son detectados por 2MASS, como en Maíz Apellániz (2010). En cualquier caso, en analogía con las SB, producimos dos estimaciones de ciertos VB y posibles VB: el primero corresponde a las detecciones de compañeras con separaciones inferiores a 5" y el segundo a aquellas entre 5" y 10" (por lo tanto, también derivamos estimaciones bajas y altas para la binariedad visual). Este

es un enfoque conservador, ya que esperamos que la mayoría de los VB posibles (e incluso algunos con separaciones más grandes no incluidas aquí) sean objetos ligados, excepto cuando estamos observando una estrella en un grupo denso.

Algunos de estos problemas están ilustrados por las dos imágenes ACS/HRC que se muestran en la Figura 37. En el panel superior, vemos que las dos estrellas brillantes (tanto en GOSSS-DR1.1 como fuera de un cúmulo bien definido) tienen compañeras aparentes con separaciones cerca de 1". Dada la ausencia de otras fuentes en el campo y la proximidad a las dos fuentes, es bastante probable que estos sean sistemas ligados. Sin embargo, cualquiera de las dos compañeras probablemente no sería detectada en un sondeo de Lucky Imaging como el de Maíz Apellániz (2010) ya que están en una parte inaccesible del plano de separación Δm . De hecho, hay mucho espacio de parámetros para explorar las VB y es probable que nuestras estimaciones actuales no sean del todo correctas. El panel inferior ilustra otro problema: qué sucede cuando los datos son extremadamente buenos (en términos de resolución espacial y tiempo de exposición) y la estrella se encuentra en el núcleo de un cúmulo compacto denso como Trumpler 14. En ese caso, comenzamos a detectar miembros del cúmulo (incluso dentro de 5") que probablemente no estén ligados a la estrella. Esta contaminación puede ser un problema para los datos futuros si se trata de medir la multiplicidad, pero no debe preocuparnos en este trabajo: Trumpler 14 es el cúmulo más denso de nuestra muestra y también es el que tiene la mejor calidad de datos en ACS/HRC. Por lo tanto, el panel inferior de la Figura 37 es un caso extremo. Además, es bastante posible que HD 93 129 B esté ligada a Aa+Ab. La masa total del sistema está por encima de $100 M_{\odot}$ y la separación proyectada es de solo 6000 AU.

4.4.4.2 Estadísticas de multiplicidad

Nuestras estadísticas de multiplicidad para los sistemas estudiados (no para las componentes individuales dentro de un sistema) se muestran en la Tabla 21. La diferencia entre las estimaciones bajas y altas es menor para las SB que para las VB. Esto es esperado, dado que las propiedades de las binarias espectroscópicas son más fáciles de establecer (si uno tiene los datos necesarios, como es el caso de OWN) que las de las binarias visuales, dado sus períodos orbitales mucho más cortos.

| Tipo | Nº | % |
|-----------------------|-----|----------------|
| Total binarias (bajo) | 126 | 64.9 ± 3.4 |
| Total binarias (alto) | 176 | 90.7 ± 2.1 |
| SBs (bajo) | 97 | 50.0 ± 3.6 |
| VBs (bajo) | 58 | 29.9 ± 3.3 |
| SBs (alto) | 117 | 60.3 ± 3.5 |
| VBs (alto) | 148 | 76.3 ± 3.1 |
| S+VBs (bajo) | 29 | 14.9 ± 2.6 |

Tabla 21. Números y frecuencias de multiplicidad (Tamaño de la muestra: 194)

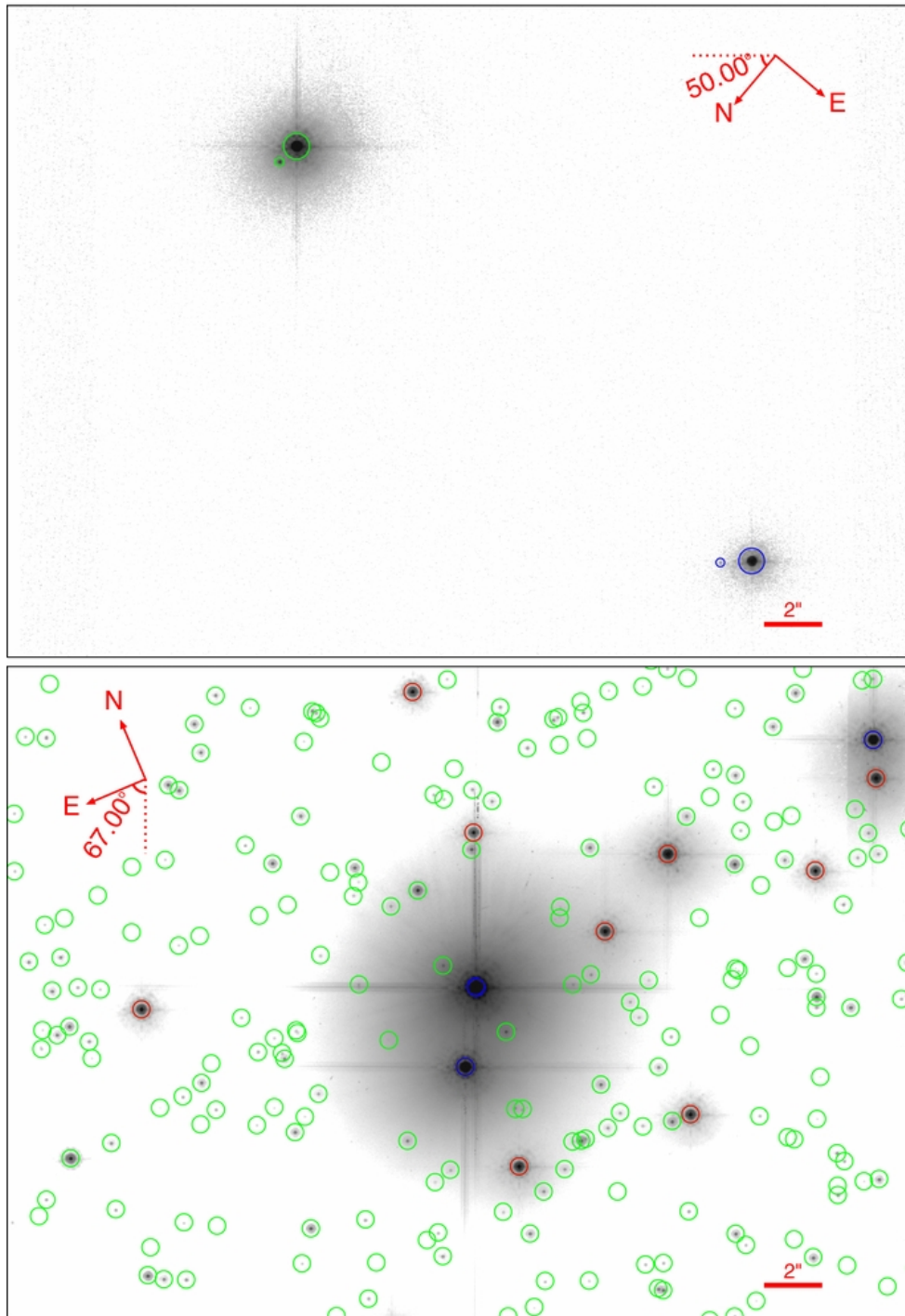


Figura 37. Arriba: imagen de tiempo corto de exposición (2.4 s) de un campo en la nebulosa Carina obtenido con ACS/HRC utilizando el filtro F850LP. Los círculos verdes marcan la posición de HD 93 162 y su acompañante, mientras que los círculos azules marcan la posición de ALS 15 210 y su compañera. Abajo: combinación de imágenes de exposición corta y larga (total = 256 s) del núcleo de Trumpler 14 obtenidas con ACS/HRC utilizando el filtro F850LP. Los círculos azules marcan la posición de los tres sistemas GOSSS: HD 93 129 AaAb (centro del campo, un sistema doble en la misma imagen cuando se observa con el contraste y el aumento adecuados), HD 93 129 B (SE de AaAb) y Trumpler 14-9 (esquina superior derecha). Los círculos rojos marcan la posición de las estrellas con magnitudes similares o más brillantes que las de las dos compañeras en el campo superior. Los círculos verdes marcan las posiciones de las estrellas detectadas con magnitudes más débiles.

Detectamos algunas compañeras (espectroscópicas o visuales) en el 64.9% de la muestra y el valor aumenta al 90.7% cuando se incluyen las posibles detecciones. Hasta donde sabemos, el segundo valor es la fracción binaria más alta alguna vez medida para una muestra grande de estrellas masivas. En comparación con los resultados revisados por Duchêne y Kraus (2013), la frecuencia de multiplicidad SB para estrellas de alta masa está en el lado bajo de su valor ($70\% \pm 9\%$), pero nuestros resultados no están corregidos por completitud y nuestro valor alto es compatible con el de ellos. Por otro lado, nuestro valor alto para VB es significativamente mayor que el de ellos ($45\% \pm 5\%$) y eso explica por qué nuestra fracción del total de binarias es tan alta. La diferencia para la frecuencia de multiplicidad de VB es probablemente causada por una mejor sensibilidad a sistemas de baja masa en separaciones grandes, un problema que ha afectado durante mucho tiempo este tipo de estudios (Duchêne y Kraus 2013).

De hecho, la fracción de posibles binarias es tan grande que solo hay 18 estrellas para las cuales no se observa ninguna señal de binariedad. De ellas, solo cuatro (22.2%) son de clase de luminosidad IV o V, un valor que debe ser comparado con las 99 estrellas (50.8%) que pertenecen a esas clases en general. Una de esas cuatro estrellas es μ Col, una fugitiva conocida, por lo que su singularidad no necesariamente es relevante. Las tres restantes (HD 96 715, HD 99 897 y HD 101 298) son todas anteriores a O7, es decir, son más luminosas que la mayoría de las estrellas O de las clases de luminosidad IV y V. ¿Que puede causar la sobreabundancia de sistemas aparentemente únicos entre gigantes O y supergigantes? Una explicación es que este es un efecto observacional. Todos los métodos de detección de binarias se benefician de un Δm pequeño, por lo que para las enanas más viejas y para gigantes y supergigantes es más fácil que una compañera permanezca sin ser detectada. Una explicación alternativa para las gigantes y supergigantes es que la diferencia sea real y que esas estrellas son individuales con más frecuencia. Esto podría deberse a que tienen una mayor probabilidad de ser fugitivas (porque son más viejas en promedio que las enanas) o, quizás más interesante, porque algunas de ellas son el resultado de fusiones (de Mink et al., 2013). Si alguna de esas explicaciones es cierta y también consideramos el hecho de que sabemos que no estamos detectando algunos sistemas binarios, entonces es posible que todas las estrellas de más de 15-20 M_{\odot} nazcan en sistemas múltiples.

Finalmente, una fracción relativamente grande (14.9%) son sistemas S+VB confirmados, es decir, que incluyen al menos tres objetos y dos de las órbitas tienen períodos significativamente diferentes (sistemas múltiples jerárquicos). La multiplicidad de orden superior de las estrellas de tipo O también aparece cuando calculamos el número promedio de componentes por sistema estelar. Si solo se incluyen ciertas compañeras, el número es 2.0. Si se agregan posibles compañeras, el valor crece a 3.4. Un valor tan grande no es causado por la posible contaminación de algunos objetos con muchas posibles compañeras, ya que la mediana de la distribución es 3, es decir, más de la mitad de las 194 estrellas se encuentran en sistemas múltiples potencialmente triples o de orden superior.

4.5 Sumario

Los resultados principales de esta tesis se han presentado en las primeras dos entregas de un sondeo de espectros de estrellas de tipo O Galácticas y que se han publicado en Sota et al. (2011, 2014). Partiendo de nuestra amplia muestra de datos digitales de alta calidad, hemos revisado el sistema de clasificación e introducido varios refinamientos diseñados para mejorar la precisión y la coherencia de los tipos espectrales. Estos incluyen el uso rutinario de la clase de luminosidad IV en los tipos espectrales O6-O8, y lo más importante, una redefinición de los criterios de tipo espectral en los tipos O tardíos para que sean uniformes en todas las clases de luminosidad para un subtipo dado. Como consecuencia, algunos objetos previamente clasificados como B0 se han movido al tipo O9.7 recién definido para las clases V a III, expandiendo la definición de la categoría espectral O. La lista de espectros estándar que definen el sistema se ha revisado y ampliado, incluidos los representantes de las nuevas subcategorías, aunque aún quedan algunos huecos en la cuadrícula bidimensional que deben rellenarse a partir de observaciones futuras. También se ha proporcionado un nuevo atlas de clasificación de estrellas de tipo O. Estos desarrollos, así como la mejora y la precisión de la clasificación digital en general, han sido apoyados por una potente nueva herramienta de software de clasificación que superpone espectros desconocidos con espectros estándares de forma secuencial, junto con capacidades para igualar los anchos de línea e incluso líneas dobles en binarias espectroscópicas, iterativamente con parámetros predefinidos para las componentes. La especial atención a la resolución espacial de sistemas visuales múltiples cercanos ha proporcionado información valiosa sobre sus espectros que así han podido ser desentramados, especialmente para HD 5005, HD 17 520 y HDE 242 935, en los que los tipos espectrales compuestos anteriores eran engañosos.

Como se esperaba de estos aumentos sustanciales en la cantidad, calidad y homogeneidad de nuestra muestra, se han encontrado nuevos miembros o características de categorías especiales, e incluso una nueva categoría (Ofc; Walborn et al., 2010a) de espectros de tipo O. Estos también incluyen las categorías ON/OC, Onfp, Of?p, Oe y SB previamente definidas, todas las cuales se han discutido. Se han dado notas extensas y referencias para muchas estrellas individuales, tanto normales como peculiares; se proporcionan gráficos de todos los espectros, así como cartas para las regiones densas. En futuras entregas de este proyecto (del cual esta tesis es solo la primera parte) se realizarán desarrollos análogos, particularmente porque incorporaremos un gran número de estrellas más débiles que en general han sido menos observadas anteriormente que las presentadas aquí. Se realizarán más discusiones astronómicas y astrofísicas y aplicaciones de nuestros resultados cuando se complete la muestra completa.

5. Referencias

- Abt, H. A. et al., 1968, An Atlas of low-dispersion grating stellar spectra.
- Airy, G. B., 1863, MNRAS, 23, 188
- Aldoretta, E. J. et al., 2015, AJ, 149, 26
- Albacete Colombo, J. F. et al., 2001, MNRAS, 326, 78
- Albacete Colombo, J. F. et al., 2002, MNRAS, 336, 1099
- Ankay, A. et al., 2001, A&A, 370, 170
- Antokhina, E. A., Srinivasa Rao, M., y Parthasarathy, M., 2011, NewA, 16, 177
- Arias, J. I. et al., 2002, MNRAS, 333, 202
- Arias, J. I. et al., 2006, MNRAS, 366, 739
- Arias, J. I. et al., 2010, ApJL, 710, L30
- Arias, J. I. et al., 2016, AJ, 152, 31.
- Bagnuolo, W. G., Jr. y Gies, D. R., 1991, ApJ, 376, 266
- Barbá, R. H., Gamen, R. C., y Morrell, N. I., 2006, ATel, 819, 1
- Barbá, R. H. et al., 2010, RMxAC, 38, 30
- Barr Domínguez, A. et al., 2013, A&A, 557, A13
- Benaglia, P., Cappa, C. E., y Koribalski, B. S., 2001, A&A, 372, 952
- Benaglia, P. et al., 2010, RMxAC, 38, 41
- Blomme, R. et al., 2007, A&A, 464, 701
- Bohannan, B. y Walborn, N. R., 1989 PASP, 101, 520
- Bonnarel, F. et al., 2000, A&AS, 143, 33
- Botto, P. y Hack, M., 1962, MmSAI, 33, 159
- Bouret, J. et al., 2008, MNRAS, 389, 75
- Bouy, H. et al., 2008, A&A, 477, 681
- Boyajian, T. S. et al., 2007, ApJ, 664, 1121
- Burkholder, V., Massey, P., y Morrell, N., 1997, ApJ, 490, 328
- Caballero, J. A., 2007, A&A, 466, 917
- Caballero-Nieves, S. M. et al., 2009, ApJ, 701, 1895
- Campillay, A. et al., 2007, VI Reunion Anual Sociedad Chilena de Astronomía (SOCHIAS), 63
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1901, AnHar, 28, 129
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1912, AnHar, 56, 115
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1918a, AnHar, 91, 1
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1918b, AnHar, 92, 1
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1919a, AnHar, 93, 1
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1919b, AnHar, 94, 1
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1920, AnHar, 95, 1
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1921, AnHar, 96, 1
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1922, AnHar, 97, 1
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1923, AnHar, 98, 1
- Cannon, A. J. y Pickering, E. C., 1924, AnHar, 99, 1
- Cannon, A. J., 1924, AnHar, 100, 17
- Cannon, A. J., 1936, AnHar, 100, 1
- Cannon, A. J. y Mayall, M. W., 1949, AnHar, 112, 1
- Chalonge, D. y Divan, L., 1952, AnAp., 15, 201
- Chini, R. y Wink, J. E., 1984, A&A, 139, L5

Clark, J. S. et al., 2002, *A&A*, 392, 909

Conti, P. S. y Alschuler, W. R., 1971, *ApJ*, 170, 325

Conti, P. S. y Leep, E. M., 1974, *ApJ*, 193, 113

Conti, P. S., Cowley, A. P., y Johnson, G. B., 1975, *PASP*, 87, 327

Conti, P. S. y Niemelä, V. S., 1976a, *ApJL*, 209, L37

Conti, P. S. y Walborn, N. R., 1976b, *ApJ*, 207, 502

Conti, P. S. et al., 1980, *ApJ*, 238, 184

Corti, M. A., Walborn, N. R., y Evans, C. J., 2009, *PASP*, 121, 9

Crowther, P. A., 2007, *ARA&A*, 45, 177

Crowther, P. A. et al., 2010, *MNRAS*, 408, 731

Crowther, P. A. y Walborn, N. R., 2011, *MNRAS*, 416, 1311

Cvetković, Z., Vince, I., y Ninković, S., 2010, *NewA*, 15, 302

De Becker, M. y Rauw, G., 2004, *A&A*, 427, 995

De Becker, M., Rauw, G., y Manfroid, J., 2004, *A&A*, 424, L39

De Becker, M., et al., 2005, *A&A*, 437, 1029

De Becker, M. et al., 2006, *A&A*, 456, 1121

De Becker, M., Linder, N., y Rauw, G., 2010, *New Astron.*, 15, 76

De Becker, M. y Raucq, F., 2013, *A&A*, 558, A28

Donati, G. B., 1863, *MNRAS*, 23, 100

Drilling, J. S. et al., 2013, *A&A*, 551, A31

Duchêne, G. y Kraus, A., 2013, *ARA&A*, 51, 269

Duchêne, G. et al., 2001, *A&A*, 379, 147

Edlen, B., 1932, *Obs*, 55, 115

Elías, F., Alfaro, E. J., y Cabrera-Caño, J., 2009, *MNRAS*, 397, 2

Evans, C. J. et al., 2011, *A&A*, 530, A108

Fernández Lajús, E. y Niemelä, V. S., 2006, *IAU Joint Discussion*, 5, 13

Ferrero, G. et al., 2013, *MNRAS*, 433, 1300

Finkbeiner, D. P., 2003, *ApJS*, 146, 407

Fitzgerald, M. P. y Mehta, S., 1987, *MNRAS*, 228, 545

Fleming, W. P. y Pickering, E. C., 1912, *AnHar*, 56, 165

Forte, J. C. y Orsatti, A. M., 1981, *AJ*, 86, 209

Fowler, R. H. y Milne, E. A., 1924, *MNRAS*, 84, 499

Fraunhofer, J., 1817, *Denkschr. Königl. Akad. Wiss. München.*, 5, 193

Freyhammer, L. M. et al., 2001, *A&A*, 369, 561

Gamen, R. C. et al., 2006, *A&A*, 460, 777

Gamen, R. C. et al., 2008, *RMxAC*, 33, 91

Gamen, R. C. et al., 2012, *A&A*, 546, A92

García, B. et al., 1998, *PASP*, 110, 53

Garmany, C. D., Conti, P. S. y Chiosi, C., 1982, *ApJ*, 263, 777

Garrison, R. F., Hiltner, W. A. y Schild, R. E., 1977, *ApJS*, 35, 111

Garrison, R. F., Schild, R. E., y Hiltner, W. A., 1983, *ApJS*, 52, 1

Gies, D. R. et al., 1993, *AJ*, 106, 2072

Gies, D. R. et al., 1994, *ApJ*, 422, 823

Gies, D. R. et al., 2002, *ApJ*, 574, 957

Gilmore, G. et al., 2012, *Msngr*, 147, 25

Goto, M. et al., 2006, *ApJ*, 649, 299

Goy, G., 1973, *A&AS*, 12, 277

Goy, G., 1980, *A&AS*, 42, 91

Grunhut, J. H. et al., 2009, MNRAS, 400, L94
 Grunhut, J. H. et al., 2012, MNRAS, 426, 2208
 Hack, M., 1953, AnAp, 16, 417
 Hammerschlag-Hensberge, G., van Kerkwijk, M. H., y Kaper, L., 2003, A&A, 407, 685
 Hartkopf, W. I. et al., 1999, AJ, 118, 509
 Harvin, J. A. et al., 2002, ApJ, 565, 1216
 Havlen, R. J. y Moffat, A. F. J., 1977, A&A, 58, 351
 Hearnshaw, J. B., 2014, The Analysis of Starlight.
 Hill, G. et al., 1994, A&A, 282, 455
 Hillwig, T. C. et al., 2006, ApJ, 639, 1069
 Hiltner, W. A., 1956, ApJS, 2, 389
 Hiltner, W. A., Garrison, R. F. y Schild, R. E., 1969, ApJ, 157, 313
 Hoogerwerf, R., de Bruijne, J. H. J., y de Zeeuw, P. T., 2000, ApJ, 544, L133
 Hoogerwerf, R., de Bruijne, J. H. J., y de Zeeuw, P. T., 2001, A&A, 365, 49
 Howarth, I. D. et al., 1991, Observatory, 111, 167
 Howarth, I. D. y Smith, K. C., 2001, MNRAS, 327, 353
 Howarth, I. D. et al., 2007, MNRAS, 381, 433
 Huggins, W. y Miller, W.A., 1862, Proc. R. Soc. Lond. A, 12, 444
 Huggins, W. y Miller, W.A., 1864, Philos. Trans. R. Soc. Lond., 154, 413.
 Huggins, W., 1864, Philos. Trans. R. Soc. Lond., 154, 139.
 Hunter, I. et al., 2008, ApJ, 676, L29
 Hunter, I. et al., 2009, A&A, 496, 841
 Hutchings, J. B. et al., 1973, MNRAS, 163, 13P
 Johnson, H. L. y Morgan, W. W., 1953, ApJ, 117, 313.
 Kaler, J., 1963, ZA, 56, 150
 Keenan, P. C. y McNeil, R. C., 1976, An atlas of spectra of the cooler stars.
 Kennedy, M. et al., 2010, ApJ, 709, 632
 Kiminki, D. C. y Kobulnicky, H. A., 2012, ApJ, 751, 4
 Kirchhoff, G., 1861, Abh. Königl. Akad. Wiss. Berlin, p. 63
 Kirchhoff, G., 1862, Abh. Königl. Akad. Wiss. Berlin, p. 227
 Kirchhoff, G., 1863, Abh. Königl. Akad. Wiss. Berlin, p. 117
 Kraus, S. et al., 2007, A&A, 466, 649
 Kraus, S. et al., 2009, A&A, 497, 195
 Leep, E. M., 1978, ApJ, 225, 165
 Lefèvre, L. et al., 2009, A&A, 507, 1141
 Leitherer, C. et al., 1987, A&A, 185, 121
 Lesh, J. R., 1968, ApJS, 17, 371
 Lester, J. B., 1973, ApJ, 185, 253
 Leung, K.-C., Moffat, A. F. J., y Seggewiss, W., 1979, ApJ, 231, 742
 Levato, H. y Malaroda, S., 1981, PASP, 93, 714
 Levato, H. y Malaroda, S., 1982, PASP, 94, 807
 Levato, H. et al., 1988, ApJS, 68, 319
 Levato, H. et al., 1990, ApJS, 72, 323
 Levato, H. et al., 1991, Ap&SS, 183, 147
 Linder, N. et al., 2007, A&A, 474, 193
 Linder, N. et al., 2008, A&A, 489, 713
 Linder, N. et al., 2009, A&A, 495, 231
 Lockyer, J. N., 1887, Proc. R. Soc. Lond. A, 43, 117

Lockyer, J. N., 1895, *Proc. R. Soc. Lond. A*, 58, 67
 Lorenzo, J. et al., 2010, *ASPC*, 435, 409
 MacConnell, D. J. y Bidelman, W. P., 1976, *AJ*, 81, 225
 Maeder, A. y Meynet, G., 2000, *A&A*, 361, 159
 Mahy, L. et al., 2009, *A&A*, 502, 937
 Mahy, L. et al., 2010, *ApJ*, 708, 1537
 Mahy, L. et al., 2012, *A&A*, 540, A97
 Mahy, L. et al., 2013, *A&A*, 550, A27
 Malkov, O. Y. et al., 2006, *A&A*, 446, 785
 Mannino, G. y Humblet, J., 1955, *AnAp*, 18, 237
 Martins, F., Schaerer, D. y Hillier, D. J., 2005, *A&A*, 436, 1049
 Martins, F. et al., 2010, *MNRAS*, 407, 1423
 Mason, B. D. et al., 1998, *AJ*, 115, 821
 Mason, B. D. et al., 2009, *AJ*, 137, 3358
 Mason, B. D. et al., 2001, *AJ*, 122, 3466
 Massey, P. y Conti, P. S., 1977, *ApJ*, 218, 431
 Massey, P. y Johnson, J., 1993, *AJ*, 105, 980
 Massey, P., DeGioia-Eastwood, K., y Waterhouse, E., 2001, *AJ*, 121, 1050
 Mathys, G., 1989, *A&AS*, 81, 237
 Maury, A. C. y Pickering, E. C., 1897, *AnHar*, 28, 128
 Mayer, P. et al., 2001, *A&A*, 366, 558
 Mayer, P., Harmanec, P., y Pavlovski, K., 2013, *A&A*, 550, A2
 Maíz Apellániz, J., 2001, *AJ*, 121, 2737
 Maíz Apellániz, J., 2004, *Astrophysics and Space Science Library*, Vol. 315, 231
 Maíz Apellániz, J., 2005, *STIS Instrument Science Report 2005-02 (STScI: Baltimore)*
 Maíz Apellániz, J., 2008a, *ApJ*, 677, 1278
 Maíz Apellániz, J., 2010, *A&A*, 518, A1
 Maíz Apellániz, J., 2013, *Highlights of Spanish Astrophysics*, VII, 583
 Maíz Apellániz, J. y Sota, A., 2008, *RMxAC*, 33, 44
 Maíz Apellániz, J. et al., 2004, *ApJS*, 151, 103
 Maíz Apellániz, J. et al., 2005, *Resolved Stellar Populations*, arXiv:astro-ph/0506283
 Maíz Apellániz, J. et al., 2007, *ApJ*, 660, 1480
 Maíz Apellániz, J., Alfaro, E. J., y Sota, A., 2008a, arXiv:0804.2553
 Maíz Apellániz, J. et al., 2008b, *RMxAC*, 33, 55
 Maíz Apellániz, J. et al., 2010, arXiv:1010.5680
 Maíz Apellániz, J. et al., 2011, *Highlights of Spanish Astrophysics VI*, 467
 Maíz Apellániz, J. et al., 2012, *ASP Conf. Ser.* 465, (San Francisco, CA: ASP), 484
 Maíz Apellániz, J. et al., 2013, arXiv:1306.6417
 Maíz Apellániz, J. et al., 2013, *Massive Stars: From α to Ω* , 198
 Maíz Apellániz, J. et al., 2014, *ApJS*, 211, 10
 Maíz Apellániz, J. et al., 2016, *ApJS*, 224, 4
 McCaughrean, M. J. y Stauffer, J. R., 1994, *AJ*, 108, 1382
 McClean, F., 1898, *ApJ*, 7, 367
 McKibben, W. P. et al., 1998, *PASP*, 110, 900
 McSwain, M. V., 2003, *ApJ*, 595, 1124
 McSwain, M. V. et al., 2010, *AJ*, 139, 857
 Moffat, A. F. J., Jackson, P. D., y Fitzgerald, M. P., 1979, *A&AS*, 38, 197
 Morgan, W. W., 1937, *ApJ*, 85, 380

Morgan, W. W., 1938, *ApJ*, 87, 460
 Morgan, W. W., Keenan, P. C. y Kellman, E., 1943, *An atlas of stellar spectra*.
 Morgan, W. W., Roman y Nancy G., 1950, *ApJ*, 112, 362
 Morgan, W. W., González, G., y González, G., 1953a, *ApJ*, 118, 323
 Morgan, W. W., Whitford, A. E., y Code, A. D., 1953b, *ApJ*, 118, 318
 Morgan, W. W., Code, A. D. y Whitford, A. E., 1955, *ApJS*, 2, 41
 Morgan, W. W. et al., 1965, *ApJ*, 142, 974
 Morgan, W. W. y Keenan, P. C., 1973, *Annual Review of A&A*, 11, 29
 Morgan, W. W., Abt, H. A. y Tapscott, J. W., 1978, *Revised MK Spectral Atlas for stars earlier than the Sun*.
 Morrell, N. I., García, B., y Levato, H., 1988, *PASP*, 100, 1431
 Morrell, N. I. et al., 2001, *MNRAS*, 326, 85
 Morris, P. M., 1961, *MNRAS*, 122, 325
 Morrison, N. D. y Conti, P. S., 1978, *ApJ*, 224, 558
 Morrison, N. D. y Conti, P. S., 1980, *ApJ*, 239, 212
 Nazé, Y. et al., 2005, *MNRAS*, 359, 688
 Nazé, Y. et al., 2008a, *A&A*, 483, 543
 Nazé, Y., Walborn, N. R., y Martins, F., 2008b, *RevMexAA*, 44, 331
 Nazé, Y. et al., 2010, *ApJ*, 719, 634
 Nazé, Y. et al., 2012a, *MNRAS*, 423, 3413
 Nazé, Y. et al., 2012b, *A&A*, 546, A37
 Nazé, Y., Zhekov, S. A., y Walborn, N. R., 2012c, *ApJ*, 746, 142
 Negueruela, I., Steele, I. A., y Bernabeu, G., 2004, *AN*, 325, 749
 Nelan, E. P., Walborn, N. R., y Wallace, D. J. et al., 2004, *AJ*, 128, 323
 Nelan, E. P., Walborn, N. R., y Wallace, D. J. et al., 2010, *AJ*, 139, 2714
 Newton, I., 1704, *Opticks*.
 Niemelä, V. S. y Morrison, N. D., 1988, *PASP*, 100, 1436
 Niemelä, V. S. y Gamen, R. C., 2005, *MNRAS*, 356, 974
 Niemelä, V. S. et al., 2006, *MNRAS*, 367, 1450
 Nordmann, C., 1909, *CRAS*, 149, 557
 Otero, S. A., 2003, *IBVS*, 5480, 1
 Otero, S. A. y Claus, F., 2004, *IBVS*, 5495, 1
 Otero, S. A. y Wils, P., 2005, *IBVS*, 5644, 1
 Otero, S. A., 2006, *OEJV*, 45, 1
 Otero, S. A., 2007, *OEJV*, 72, 1
 Parkin, E. R. et al., 2011, *ApJS*, 194, 8
 Patience, J. et al., 2008, *ApJ*, 674, L97
 Pearce, J. A., 1930, *PDAO*, 5, 110
 Pellerin, A. et al., 2012, *American Astronomical Society Meeting Abstracts*, Vol. 219, 224.03
 Penny, L. R., 1996, *ApJ*, 463, 737
 Penny, L. R. et al., 2001, *ApJ*, 548, 889
 Penny, L. R. et al., 2002, *ApJ*, 575, 1050
 Petrie, R. M., 1947, *PDAO*, 7, 321
 Pickering, E. C., 1890, *AnHar*, 27, 1
 Pickering, E. C., 1897, *HarCi*, 16, 1
 Plaskett, H. H., 1921, *PDAO*, 1, 325
 Plaskett, J. S. y Pearce, J. A., 1931, *PDAO*, 5, 99
 Pourbaix, D. et al., 2004, *A&A*, 424, 727

Rauw, G. et al., 2000, A&A, 360, 1003
 Rauw, G. et al., 2001a, A&A, 368, 212
 Rauw, G. et al., 2001b, MNRAS, 326, 1149
 Rauw, G. et al., 2002, A&A, 392, 563
 Rauw, G. et al., 2008, A&A, 487, 659
 Rauw, G. et al., 2009, MNRAS, 398, 1582
 Rauw, G. et al., 2012, A&A, 542, A95
 Reed, B. Cameron, 2003, AJ, 125, 2531
 Roberts, L. C. et al., 2010, AJ, 140, 744
 Roman-Lopes, A., Barbá, R. H., y Morrell, N. I., 2011, MNRAS, 416, 501
 Rudnick, P., 1936, ApJ, 83, 439
 Rutherford, L.M., 1863, AJS, 103, 71
 Sabín-Sanjulián et al., 2014, arXiv:1312.3278
 Saha, M.N., 1920, Philosophical Magazine, 40, 472
 Saha, M.N., 1921, Proc. R. Soc. Lond. A, 99, 697
 Sana, H. et al., 2008, MNRAS, 386, 447
 Sana, H., Gosset, E., y Evans, C. J., 2009, MNRAS, 400, 1479
 Sana, H., James, G., y Gosset, E., 2011a, MNRAS, 416, 817
 Sana, H. et al., 2011b, ApJL, 740, L43
 Sana, H. et al., 2013, A&A, 553, A131
 Sana, H. et al., 2013a, ApJS, 215, 15
 Schild, R. E., 1970, ApJ, 161, 855
 Schild, R. E., Hiltner, W. A., y Sanduleak, N., 1969, ApJ, 156, 609
 Secchi, A., 1863a, CRAS, 57, 71
 Secchi, A., 1863b, CRAS, 63, 364
 Secchi, A., 1863c, CRAS, 66, 124
 Secchi, A., 1877, Le Stelle, p. 98
 Shara, M. M. et al., 2009, AJ, 138, 402
 Sherry, W. H. et al., 2008, AJ, 135, 1616
 Simón-Díaz, S. et al., 2011, BSRSL, 80, 514
 Simón-Díaz, S., Caballero, J. A., y Lorenzo, J., 2011a, ApJ, 742, 55
 Simón-Díaz, S. et al., 2011b, IAU Symp. 272, 310
 Simón-Díaz, S. et al., 2011c, Stellar Clusters & Associations: A RIA Workshop on Gaia, 255
 Skrutskie, M. F. et al., 2006, AJ, 131, 1163
 Smith, N., Barbá, R. H., y Walborn, N. R., 2004, MNRAS, 351, 1457
 Solivella, G. R. y Niemelä, V. S., 1986, RMxAA, 12, 188
 Sota, A. et al., 2008, RMxAC, 33, 56
 Sota, A. et al., 2011, ApJS, 193, 24
 Sota, A. et al., 2013, Massive Stars: From α to Ω , 101
 Sota, A. et al., 2014, ApJS, 211, 10
 Stibbs, D. W. N., 1950, MNRAS, 110, 395
 Stickland, D. J. et al., 1987, A&A, 184, 185
 Stickland, D. J., 1996, Obs, 116, 294
 Stickland, D. J., Lloyd, C., y Koch, R. H., 1997, Observatory, 117, 143
 Stickland, D. J., Lloyd, C., y Sweet, I., 1998, Obs, 118, 7
 Stickland, D. J. y Lloyd, C., 2001, Obs, 121, 1
 Szczerba, R. et al., 2007, A&A, 469, 799
 Sánchez-Bermúdez, J. et al., 2013, A&A, 554, L4

Thackeray, A. D. y Andrews, P. J., 1974, A&AS, 16, 323
 Thaller, M. L. et al., 2001, ApJ, 554, 1070
 Tokovinin, A., Mason, B. D., y Hartkopf, W. I., 2010, AJ, 139, 743
 Turner, N. H. et al., 2008, AJ, 136, 554
 Urquhart, J. S., Morgan, L. K., y Thompson, M. A., 2009, A&A, 497, 789
 Van Loo, S. et al., 2008, A&A, 483, 585
 Vijapurkar, J. y Drilling, J. S., 1993, ApJS, 89, 293
 Vogel, H. C., 1874, An, 84, 113
 Vogel, H. C., 1883, Publik. der astrophysik. Observ. Potsdam, 4, 17
 Vogel, H. C., 1895, ApJ, 2, 333
 Wade, G. A. et al., N.the MiMeS Collaboration 2010, arXiv:1009.3564
 Wade, G. A. et al., 2012, MNRAS, 425, 1278
 Walborn, N. R. y Fitzpatrick, E. L., 1990, PASP, 102, 379
 Walborn, N. R. y Fitzpatrick, E. L., 1990, PASP, 102, 379
 Walborn, N. R. y Fitzpatrick, E. L., 2000, PASP, 112, 50
 Walborn, N. R. y Panek, R. J., 1984, ApJ, 286, 718
 Walborn, N. R., 1971a, ApJ, 164, 67
 Walborn, N. R., 1971b, ApJ, 167, 31
 Walborn, N. R., 1971c, ApJS, 23, 257
 Walborn, N. R., 1972, AJ, 77, 312
 Walborn, N. R., 1973, AJ, 78, 1067
 Walborn, N. R., 1973a, ApJ, 179, 517
 Walborn, N. R., 1973b, AJ, 78, 1067
 Walborn, N. R., 1973c, ApJ, 186, 611
 Walborn, N. R., 1976, ApJ, 205, 419
 Walborn, N. R., 1982a, ApJL, 254, L15
 Walborn, N. R., 1982b, ApJ, 256, 452
 Walborn, N. R., 1982c, AJ, 87, 1300
 Walborn, N. R., 2001, ASPC, 242, 217
 Walborn, N. R., 2003, ASPC, 304, 29
 Walborn, N. R., 2007, astro-ph/0701573
 Walborn, N. R., 2009a, Stellar Spectral Classification, Princeton Univ. Press, 66
 Walborn, N. R., 2009b, STScI Symposium Series, Vol. 20, 167
 Walborn, N. R. et al., 2000, PASP, 112, 1243
 Walborn, N. R. et al., 2002, AJ, 123, 2754
 Walborn, N. R. et al., 2008, ApJL, 683, L33
 Walborn, N. R. et al., 2010a, AJ, 139, 1283
 Walborn, N. R. et al., 2010b, ApJL, 711, L143
 Walborn, N. R. et al., 2011, AJ, 142, 150
 Walborn, N. R. et al., 2014, A&A, 564, 40
 Walter, F. M., 1992, PASP, 104, 508
 Werner, K. y Rauch, T., 2001, ASP Conf. Ser. 242, 229
 Wertheimer, J. G. y Laughlin, G., 2006, AJ, 132, 1995
 Whiteoak, J. B., 1963, MNRAS, 125, 105
 Williams, A. M. et al., 2001, ApJ, 548, 425
 Williams, E. G., 1936, ApJ, 83, 305
 Williams, S. J. et al., 2009, ApJ, 696, L137
 Williams, S. J. et al., 2013, AJ, 145, 29

Wilsing, J. y Scheiner, J., 1909, AN, 183, 97
Wolf, C. y Rayet, G., 1867, CRAS, 65, 292
Wollaston, W.H., 1802, Philos. Trans. R. Soc., 92, 365
Wramdemark, S., 1976, A&AS, 23, 231
Zasche, P. et al., 2009, AJ, 138, 664
de Mink, S. E. et al., 2013, ApJ, 764, 166
ten Brummelaar, T. A. et al., 2011, AJ, 142, 21
van Leeuwen, F. y van Genderen, A. M., 1997, A&A, 327, 1070
van Leeuwen, F., 2007, Astrophysics and Space Science Library, Vol. 350, 20
van der Hucht, K. A., 2001, NewAR, 45, 135

6. Apéndice: Reducción de datos

Una de las partes que más tiempo ha llevado en la elaboración de esta tesis ha sido la obtención y reducción de los datos. Con cientos de noches de observación y miles de espectros obtenidos, desde el principio del proyecto se vio la conveniencia de programar un datoducto para el procesado de todos los datos. Con esta idea, al comienzo de las observaciones en 2007 se empezaron a programar las rutinas para la reducción de los datos en el lenguaje de programación IDL y a principios de 2008 ya había una primera versión completa del datoducto. En los siguientes años se fueron mejorando algunas rutinas y en el año 2012 se reescribió desde el principio para hacerlo más eficiente.

El datoducto consta de una serie de rutinas que se van ejecutando secuencialmente. Se puede ejecutar de una manera automática para obtener una vista previa de los espectros o semi-automática para obtener los espectros finales. A continuación se describe cada proceso que compone el datoducto.

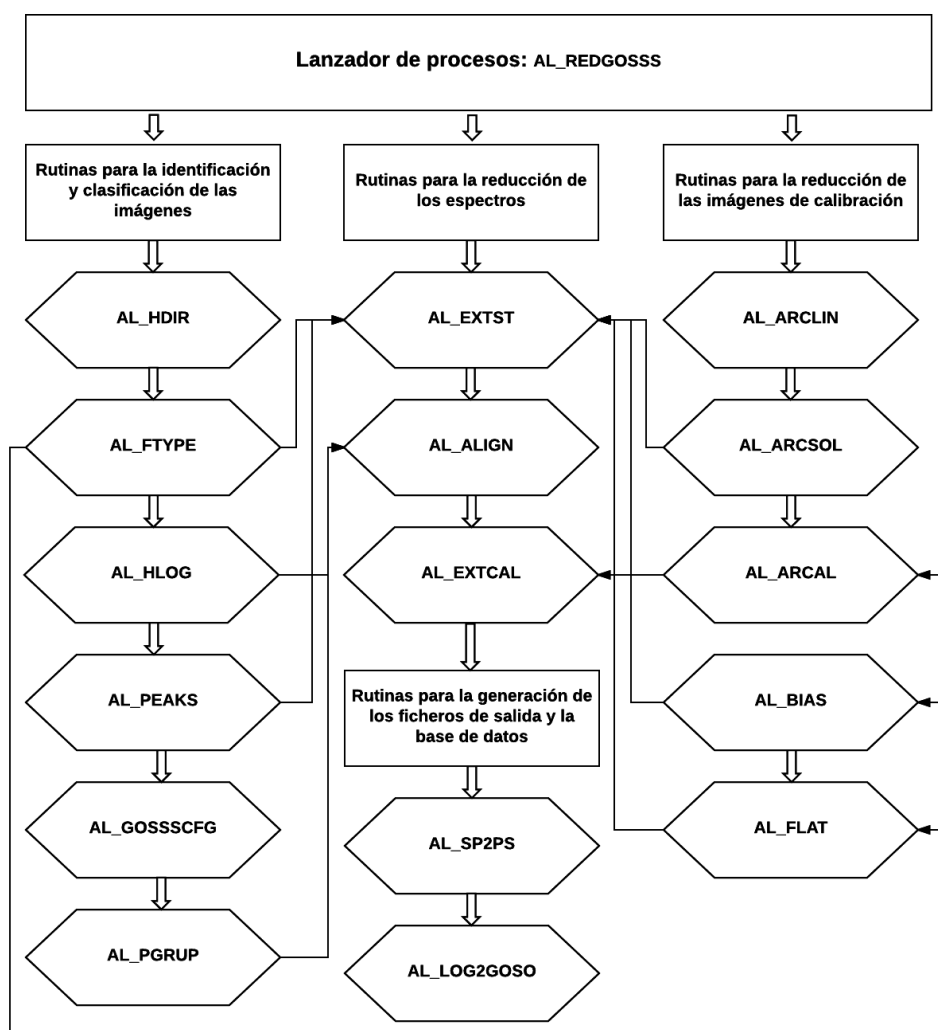


Figura 38. Esquema de funcionamiento del datoducto para la reducción de los espectros.

7.1. LAUNCH_AL_REDGOSSS

Esta rutina sirve para la selección de los datos de entrada (observatorio y fecha de observación) así como las configuraciones básicas para la reducción de los espectros. Las selecciones que se pueden hacer son las siguientes:

Observatory: Selección del observatorio desde donde se han realizado las observaciones que se van a reducir.

Config: En cada observatorio se puede definir la configuración usada para las observaciones (red, LOC, anchura de la rendija...) para seleccionar de manera automática las imágenes del programa y descartar otras imágenes obtenidas en la misma noche pero con otros parámetros de configuración diferentes. Se pueden definir varias configuraciones por observatorio puesto que en algunos casos los espectrógrafos tienen dos brazos (uno azul y otro rojo como en el caso TWIN en el telescopio de 3.5 m de CAHA). En otros casos es necesario usar dos LOC para cubrir todo el rango espectral de interés.

Extension: Extensión donde se encuentran las imágenes en los ficheros fits. En casi todos los observatorios donde hemos obtenido datos, las imágenes se encuentran únicamente en la primera extensión, pero en el caso de OSIRIS (GTC), cada fichero fits contiene datos en dos extensiones correspondientes a las dos CCD que se usan a la vez para cubrir más campo.

Output: Se puede definir que la interacción con cada subrutina sea en modo gráfico o en modo terminal. Esto es útil cuando se quiere ejecutar el datoducto en un servidor por ssh y no se puede mandar la señal de la ventana gráfica.

Verbose: Aquí se puede definir si se quiere que el datoducto trabaje de forma completamente automática sin interacción por parte del usuario (verbose no) o si por el contrario se prefiere interaccionar en cada subrutina. En este caso, hay dos niveles de interacción: una básica (verbose si) y otra más intensiva (verbose mas).

Plot: Se puede definir que cada subrutina muestre o no gráficas según se va ejecutando.

Debug: En algunas subrutinas hay algunos puntos donde se puede parar la ejecución para revisar manualmente lo procesado hasta ese momento. También hay dos niveles como en “verbose”. En general se usa por motivos de depuración de los programas.

Inspect: El datoducto se puede interrumpir en cualquier momento y al ejecutarlo de nuevo continuará por los procesos que aún no se han completado. Si se quiere revisar la salida de un proceso ya completado pero no se quiere ejecutar de nuevo, se selecciona ese proceso en este apartado.

Repeat: Para repetir algún proceso que ya ha sido completado.

Exit: El datoducto se detiene al finalizar el proceso marcado.

Una vez seleccionadas cada una de las opciones anteriores, el programa deja elegir uno o varios directorios que serán procesados a la vez y manda todos los parámetros que se han seleccionado (directorio con datos de entrada, configuración usada en las observaciones, modos para la reducción...) al siguiente programa

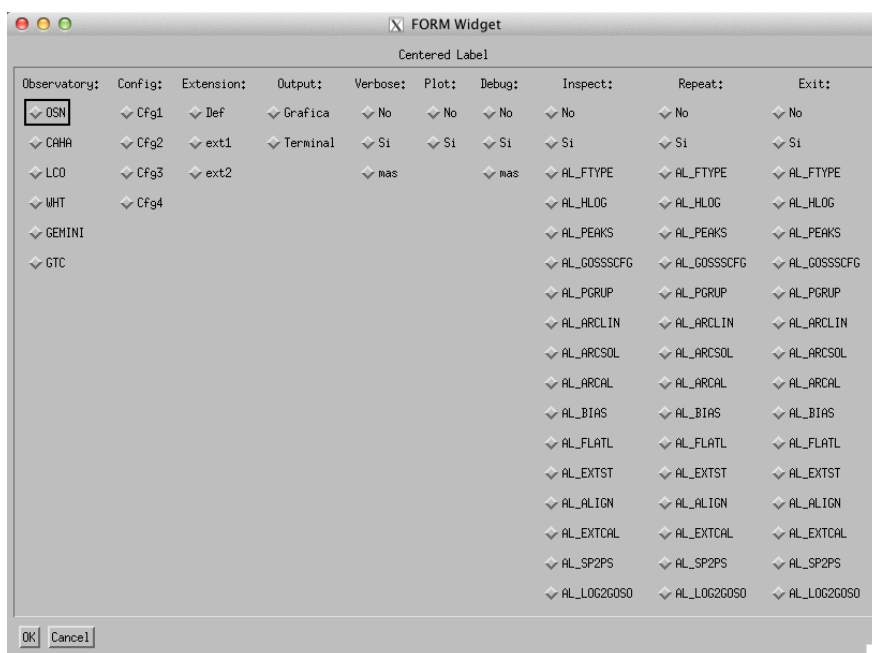


Figura 39. Configuración inicial para la selección de imágenes a reducir.

7.2. AL_REDGOSSS

Este programa es el cuerpo principal del datoducto desde el que se van llamando a todas las rutinas que siguen. Al principio del programa se crean los directorios que van a usarse posteriormente para guardar la salida del resto de subrutinas y se definen las configuraciones o parámetros propios de cada observatorio que se usarán en la reducción. Algunos parámetros que hay que definir y son diferentes en cada observatorio son por ejemplo la orientación de las imágenes, los nombres a algunos Keywords de las cabeceras necesarios para la reducción, grados del polinomio para el ajuste de las líneas de los arcos, etc. También se genera un fichero de bitácora para ir almacenando información sobre la marcha de los procesos.

Las siguientes rutinas que se ejecutan están destinadas a la identificación y clasificación de las imágenes

7.3. AL_HDIR

La primera subrutina que se llama desde AL_REDGOSSS es AL_HDIR. Este proceso extrae toda la información que hay en los headers de todas las imágenes del directorio que se está procesando y guarda la tabla generada en un fichero de texto. En esta tabla, cada línea corresponde a un fichero fits y cada columna a cada uno de los keywords diferentes que hay en los headers de todas las imágenes. La tabla está ordenada según la fecha juliana y también se guarda en formato de tabla fits para su uso en otras rutinas.

7.3. AL_FTYPE

La siguiente rutina se encarga de identificar cada tipo de imagen. Esto se hace de dos maneras diferentes que son comparadas. Los tipos de imagen que se identifican son los siguientes: bias (BIAS), flat de cielo (FLATC), flat de lámpara (FLATL), arcos (ARCO), espectros de estrellas (IMG), imágenes que no corresponden a ninguno de las anteriores categorías, como imágenes de campo o imágenes defectuosas que no se usan en la reducción (ERROR). En la primera manera, se extrae la información directamente de los datos del header. En general, se miran los keywords “OBJECT” y “EXPTYPE”. Para los Bias simplemente se mira que el tiempo de exposición sea cero segundos, y para los arcos que estén encendidas las lámparas correspondientes (en casi todos los observatorios suele haber un keyword específico para eso). Pero alguno de estos keywords (como “OBJECT”) se introducen de manera manual al hacer la observación, así que para evitar errores se usa también un segundo método en el que se inspecciona directamente la imagen y se hacen una serie de estadísticas sobre ellas. En la salida gráfica de esta rutina, al cargar cada imagen se muestran las siguientes figuras:

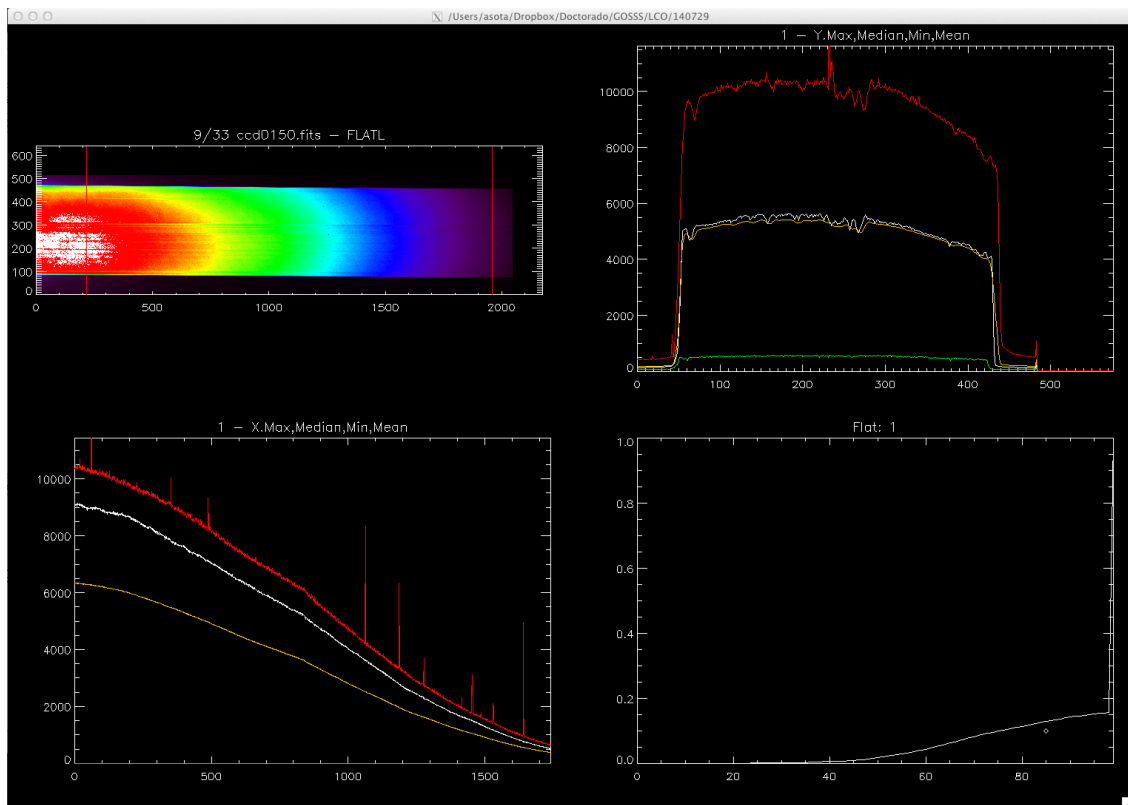


Figura 40. Distintas estadísticas sobre cada imagen para su identificación automática. La primera figura es la imagen propiamente dicha con la dirección espectral en el eje de abscisas. En las siguientes dos gráficas se muestran las estadísticas (máxima, mínima, media y mediana) sobre cada uno de los dos ejes. La última gráfica corresponde a una combinación elegida de todas estas estadísticas que produce valores muy diferentes para cada tipo de imagen.

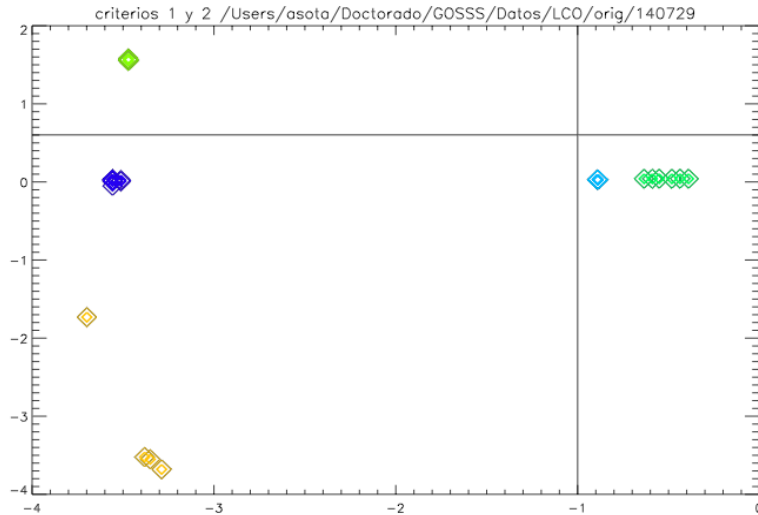


Figura 41. Los criterios se guardan también en un fichero ps donde se ve que cada tipo de imagen se agrupa en una zona concreta de las gráficas. Los colores corresponden a lo siguiente: azul oscuro = BIAS, azul claro = FLATL, verde oscuro = FLATC, verde claro = ARCO, naranja = IMG, rojo = ERROR.

Este proceso es conveniente ejecutarlo de manera interactiva (verbose yes) o revisarlo una vez ejecutado (inspect yes) para ver que todo se ha hecho bien antes de pasar a los siguientes procesos. Cuando se hace de manera interactiva, al finalizar la identificación automática de las imágenes, se muestran unas ventanas con todas las imágenes (de 16 en 16) agrupadas según su tipo. De esta forma es muy rápido mirar que ninguna imagen se ha identificado erróneamente.

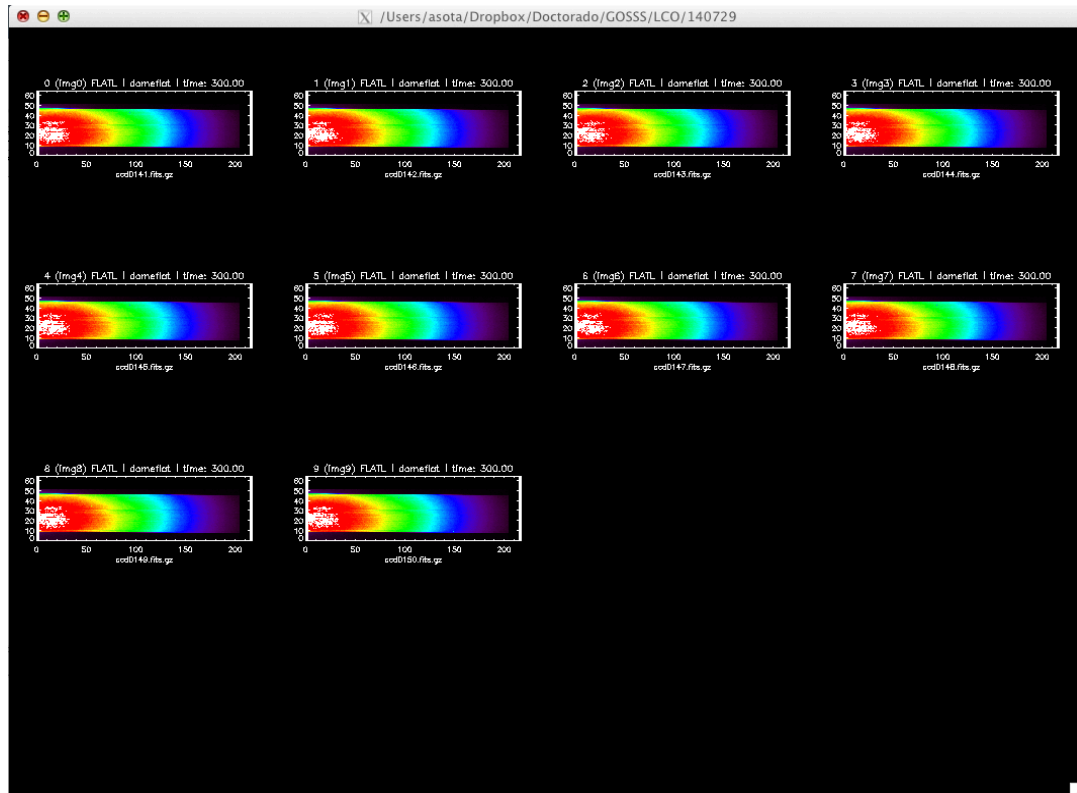


Figura 42. Paneles donde se muestran todas las imágenes de una noche completa de observación agrupadas por los diferentes tipos.

Junto con la ventana con las imágenes, aparece también una ventana de diálogo en la que se pueden hacer correcciones (cambiar de tipo alguna imagen) o inspeccionar alguna imagen concreta en una ventana grande para verla con más detalle.

7.4. AL_HLOG

Este proceso tiene dos finalidades. La primera es identificar qué imágenes corresponden a cada campo observado para después poder combinar los espectros de las mismas estrellas automáticamente. Como entrada se usa el fichero generado por la primera rutina (AL_HDIR) que contiene todos los datos de las cabeceras de las imágenes, y dado que ya está ordenado según la fecha juliana, se calcula la diferencia de tiempo transcurrida desde el principio de una de las exposiciones con el final de la exposición anterior. También se calcula la distancia en segundos de arco de la posición del telescopio de esa imagen con la anterior. De esta manera podemos conocer de forma automática qué imágenes se ha obtenido en la misma posición del telescopio (desplazamientos con respecto a la imagen anterior menores al tamaño de la rendija) y en la misma secuencia (tiempo transcurrido entre las imágenes menor que un determinado límite). Luego se le asigna a cada imagen y cada arco un número de grupo para después poder combinar los espectros de las imágenes correspondientes al mismo grupo. Para la calibración en λ , a cada espectro se le asigna la solución del arco correspondiente a su grupo, o del arco más cercano en caso de que ese grupo no lo tenga. Para los Bias y Flats no es relevante su agrupación, así que se les asigna a todos el grupo 0.

Posteriormente se genera un fichero de bitácora con la información más relevante de los headers y añadiendo el tipo de imagen que se ha determinado en el proceso AL_FTYPE y el número de grupo que se ha determinado en este mismo proceso. Los keyword que se usan para generar la bitácora son los usuales (nombre del fichero, fecha de la observación, objeto, tiempo de exposición, coordenadas del telescopios, tiempo sidéreo, masa de aire, anchura de la rendija, red utilizada, longitud de onda central y ángulo del rotador). Entre cada grupo de imágenes se añade una línea horizontal para facilitar la visualización del fichero. En caso de haber elegido el modo interactivo, el fichero de bitácora es mostrado en pantalla y aparece un diálogo para corregir posibles errores (añadir o quitar imágenes de un grupo).

Este fichero de bitácora es muy útil para poder ver de una forma rápida los datos de cada noche de observación e identificar posibles circunstancias que puedan dar problemas a la hora de reducir y combinar los espectros, como ángulos del rotador o anchuras de rendija diferentes en una misma secuencia.

7.5. AL_PEAKS

La finalidad de este proceso es la identificación del número de espectros que hay en cada imagen y su posición. El programa carga cada imagen y extrae el perfil en el centro (dirección espectral) calculando la mediana en una banda de 21 píxeles. En la ventana gráfica, el eje de abscisas del perfil se representa en escala lineal y logarítmica (para ver las estrellas más débiles). Después el programa identifica las zonas que hay por encima de un determinado valor, y dentro de esas zonas, los picos que corresponden a los espectros de las estrellas ajustando al perfil unas gaussianas.

Si el programa detecta solo un pico en una zona, pero se sabe que en realidad tiene que haber dos o más estrellas muy juntas, se puede estimar a mano las posiciones de las estrellas marcando su posición con el cursor y el programa rehace automáticamente el ajuste de los perfiles. (ver ejemplo siguiente). Si hay estrellas débiles que queremos extraer pero no han sido identificadas al estar el límite de detección más alto, se puede cambiar manualmente el límite y repetir la detección.

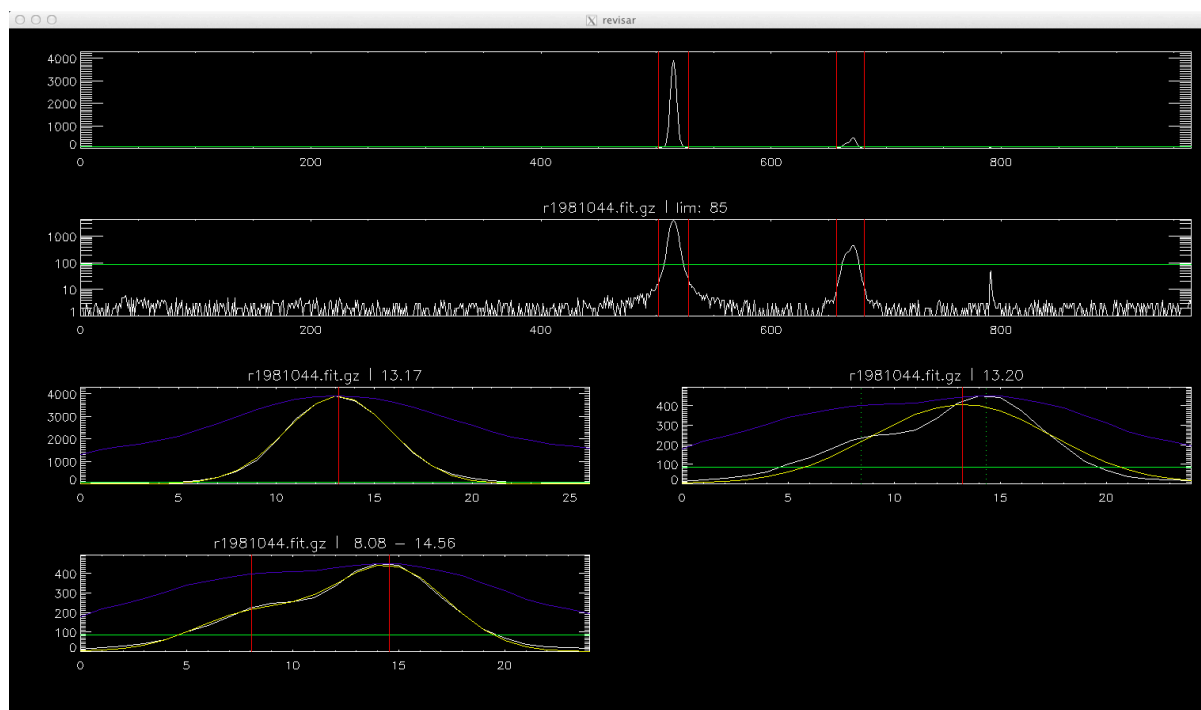


Figura 43. Detección de espectros. Gráficas 1 y 2: Perfil en el centro de la imagen en escala lineal y logarítmica. La línea verde corresponde al límite de detección. Gráficas 3 y 4: Ajuste automático de gaussianas a cada zona. Gráfica 5: Ajuste de dos gaussianas con selección manual de los centros en la segunda zona.

Una vez que se han identificado las zonas con señal, se extrae una banda de la imagen en la longitud espacial y se ajusta una o varias gaussianas sobre la longitud espectral. De esta manera se calculan el centro y anchura de cada espectro a lo largo de la imagen.

Con los datos obtenidos se genera un fichero de texto donde se identifica cada estrella y se da la posición en el eje espacial de la banda que contiene todo el espectro. Para identificar cada estrella dentro de la imagen hay 3 claves: PEAK0: orden correlativo del espectro dentro de la imagen. GROUP1: número de la zona donde se encuentra el espectro. PEAK1: orden correlativo del espectro dentro de la zona donde se encuentra. La banda se calcula para que contenga el centro del espectro más menos cuatro veces el sigma del ajuste por gaussianas.

```
FILE00          | PEAK0 | GROUP1 | PEAK1 | BANDA (X1) | BANDA (X2)
r1981044.fit.gz 0      0      0      488      541
r1981044.fit.gz 1      1      0      638      697
r1981044.fit.gz 2      1      1      638      697
```

Finalmente se muestra una ventana donde aparece la imagen que se está procesando y superpuesto los centros de los espectros de las estrellas más menos cuatro veces el sigma del ajuste por gaussianas, y los límites de las bandas calculadas. También se colapsa cada banda para hacer un espectro crudo de su contenido y tener una primera idea de lo que se ha observado.

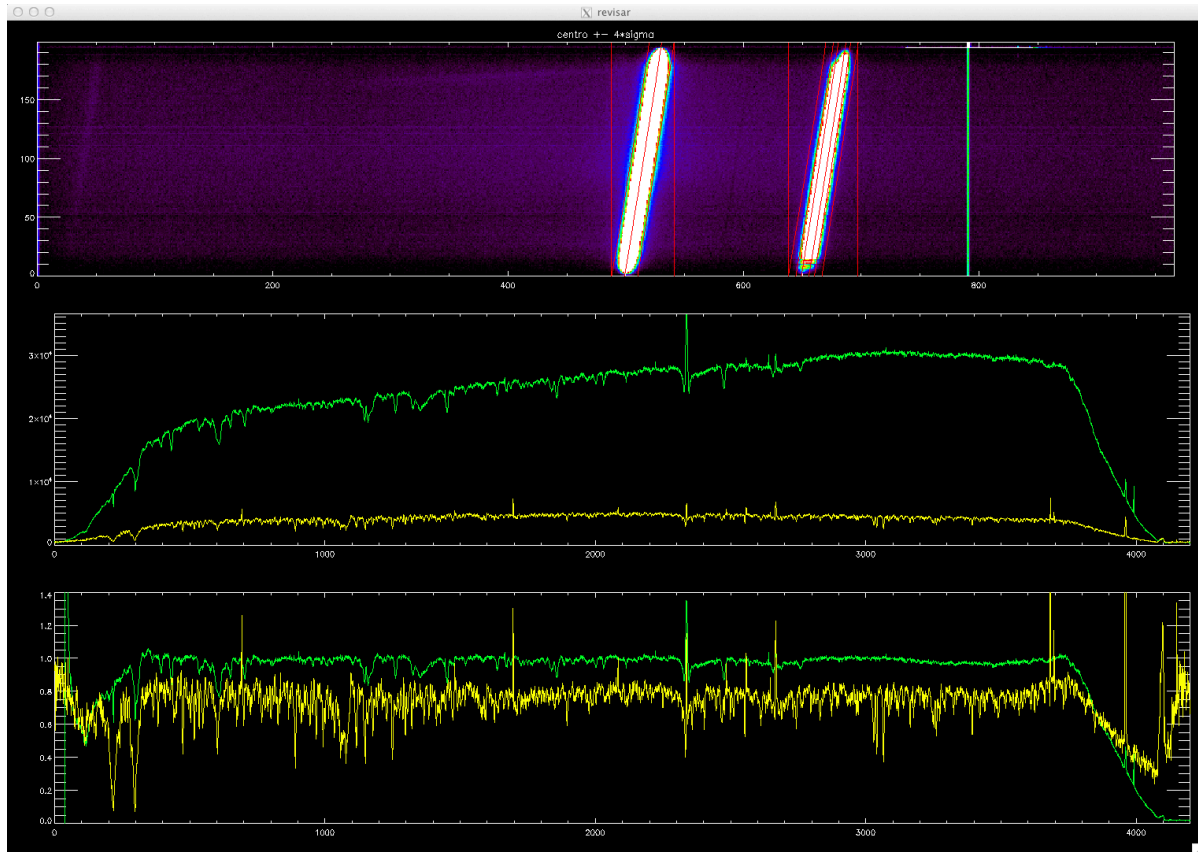


Figura 44. Posiciones de los espectros identificados y una primera extracción.

En este proceso, dado que solo se quiere identificar el número de espectros y su posición dentro de la imagen para su uso en procesos posteriores, las imágenes no se corrigen de Bias ni Flats y se reducen de tamaño para que se ejecute más rápido.

7.6. AL_GOSSSCFG

Hasta ahora, los anteriores procesos se han ejecutado para todas las imágenes que contiene el directorio que estamos procesando, pero puede que no se quieran reducir todas las imágenes puesto que se hayan observado con otras configuraciones del instrumento, o sean imágenes que no se necesitan (imágenes de enfoque, imágenes de campo, ...). Esta rutina identifica las imágenes que se han obtenido con la configuración predefinida para cada observatorio (el criterio principal es que el LOC esté dentro de un determinado rango) y que sean válidas para los siguientes procesos en la reducción (se eliminan las que se han identificado como “ERROR”). Finalmente se genera una bitácora con las imágenes que se van a procesar a partir de este punto. Este fichero se puede editar manualmente para quitar las imágenes que no se quieran procesar por cualquier motivo.

7.7. AL_PGRUP

Este proceso se encarga de identificar todos los espectros de la misma estrellas en las diferentes imágenes de una secuencia para poder combinarlos automáticamente en las siguientes rutinas. El programa tiene en cuenta la separación que hay entre los espectros para asegurarse de que la identificación del mismo espectro en las diferentes imágenes es correcta. En caso de que las distancias en los espectros de una imagen no sean las mismas que en las siguientes imágenes, o que el número de espectros no sea el mismo en todas las imágenes, sale un cuadro de diálogo para hacer la identificación de los espectros a mano.

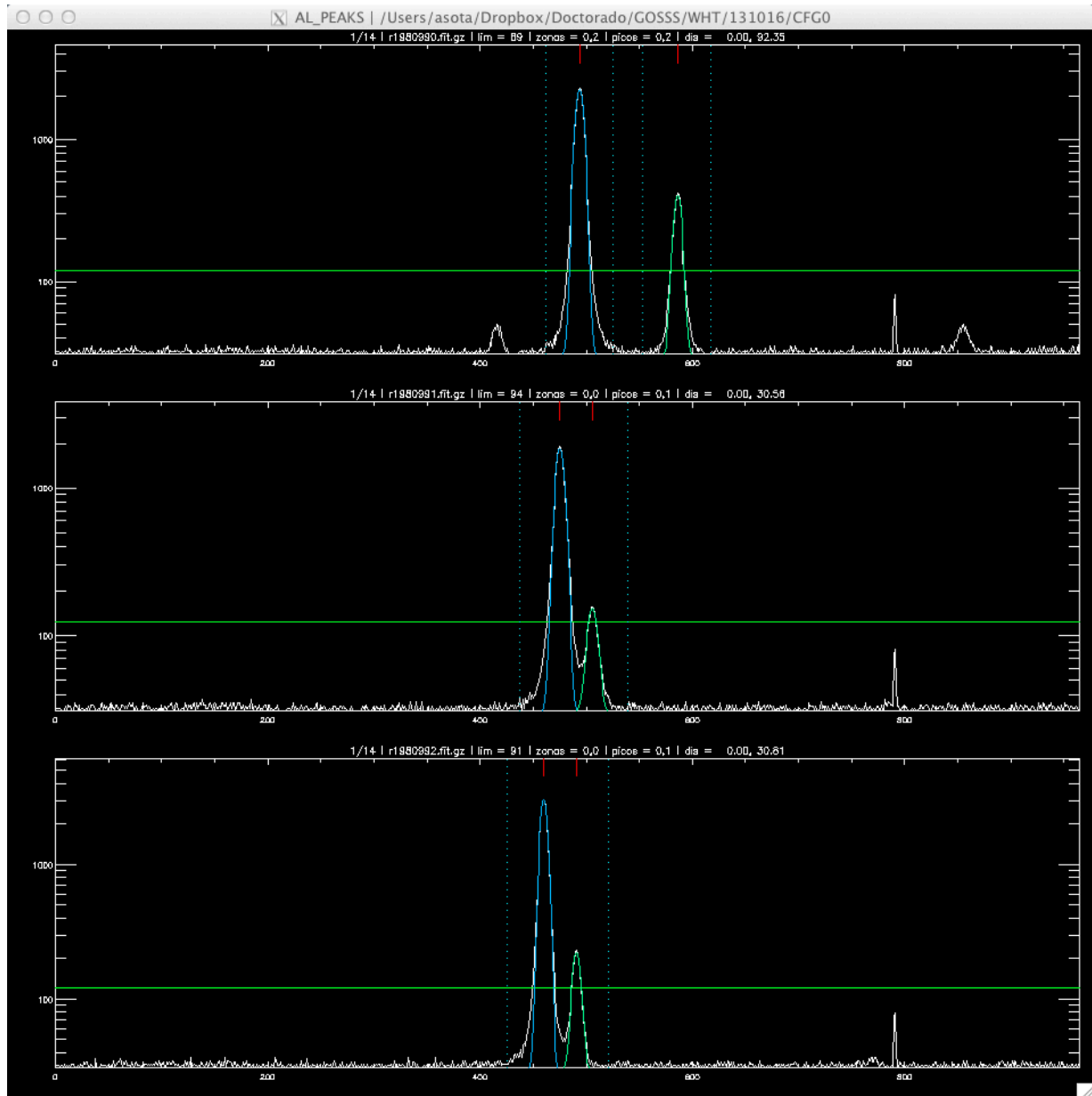


Figura 45. Identificación de espectros en las imágenes del mismo grupo. En este caso, el ángulo del rotador es diferente entre la primera imagen y las otras dos. La estrella más brillante es la misma en las tres imágenes y se identifica con el número 0. La segunda estrella que hay en la primera imagen se identifica con el número 2, y la que hay en la segunda y tercera imagen se identifica con el número 1.

Las siguientes rutinas que se ejecutan están destinadas a la reducción de las imágenes de calibración.

7.8. AL_ARCLIN

La principal finalidad de este proceso y el siguiente es el cálculo de la curvatura de las imágenes a partir de una o varias imágenes de lamparas de calibración. Posteriormente, las imágenes con los espectros estelares son corregidas de esta curvatura para poder sustraer el espectro del cielo de una manera precisa, a la vez de tener una calibración en longitud de onda uniforme en toda la imagen.

En el primer paso, se selecciona uno de los arcos de la noche y se identifica la posición de la banda donde las líneas de emisión tienen suficiente señal (en la práctica este será el tamaño de la rendija).

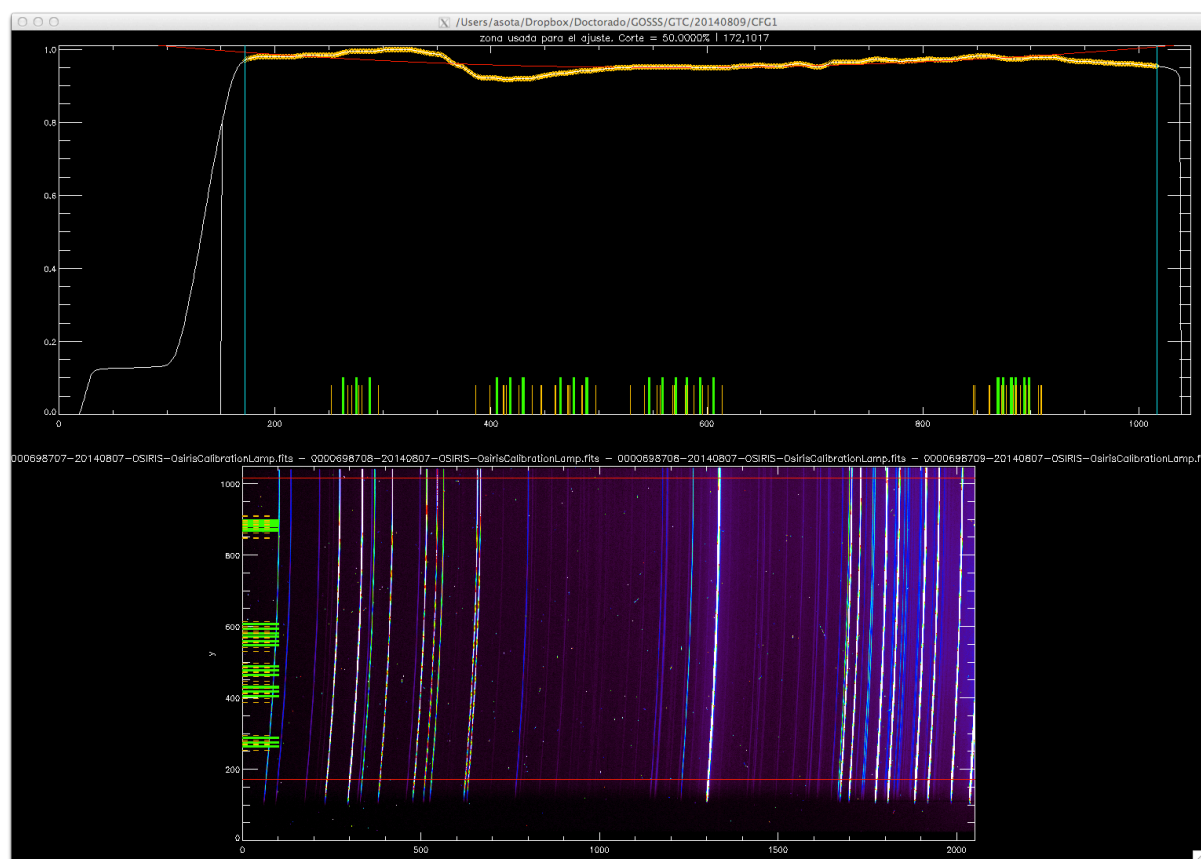


Figura 46. Selección de la zona válida de la imagen donde las líneas de los arcos no viñeteen. En esta zona es donde se calcula la curvatura de la imagen. Las líneas verdes más cortas corresponden a las posiciones de todos los espectros de las estrellas observados durante esa noche e identificados en los procesos anteriores.

Una vez definida la zona válida del espectro, se identifican todas las líneas que están por encima de un determinado límite y se ajusta un perfil gaussiano a cada una de ellas. Si el error en el ajuste es alto (normalmente en líneas dobles o con mala señal/ruido), se marca la línea como mala y no se usará para el cálculo de la curvatura.

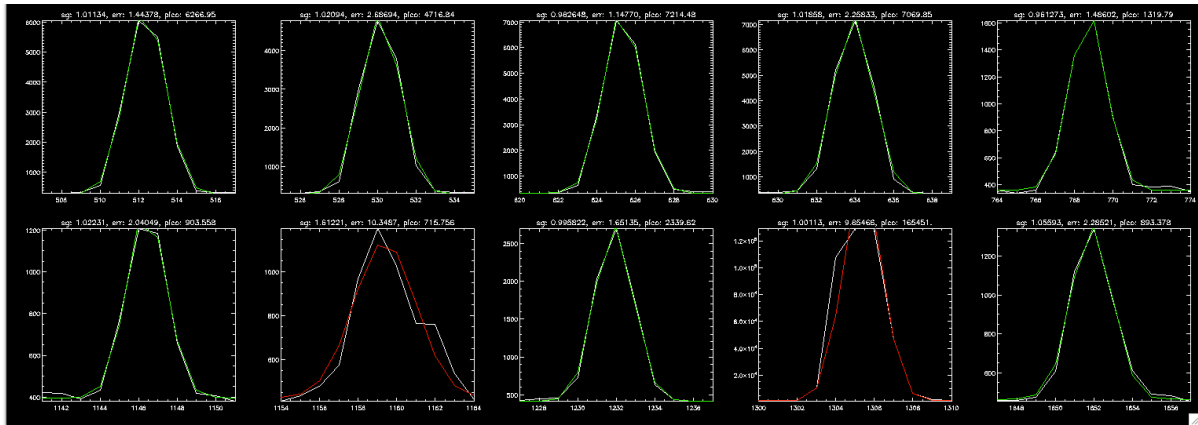


Figura 47. Cada línea del arco se ajusta con un perfil gaussiano. Si el ajuste no es bueno (en rojo), esas líneas se marcan como malas y no se usan en el cálculo de la curvatura.

Después se elige un número suficiente de líneas válidas (entre 10 y 20) de una manera más o menos equiespaciada a lo largo de todo el espectro, y para estas líneas se hace un ajuste con gaussianas a lo largo de la dirección espacial. Para cada línea se va guardando en un fichero los valores del centro de la línea, el sigma y el máximo. Posteriormente solo se usará el centro de todas las líneas seleccionadas para calcular la curvatura de la imagen, pero los otros valores son útiles para detectar posibles problemas en el espectrógrafo.

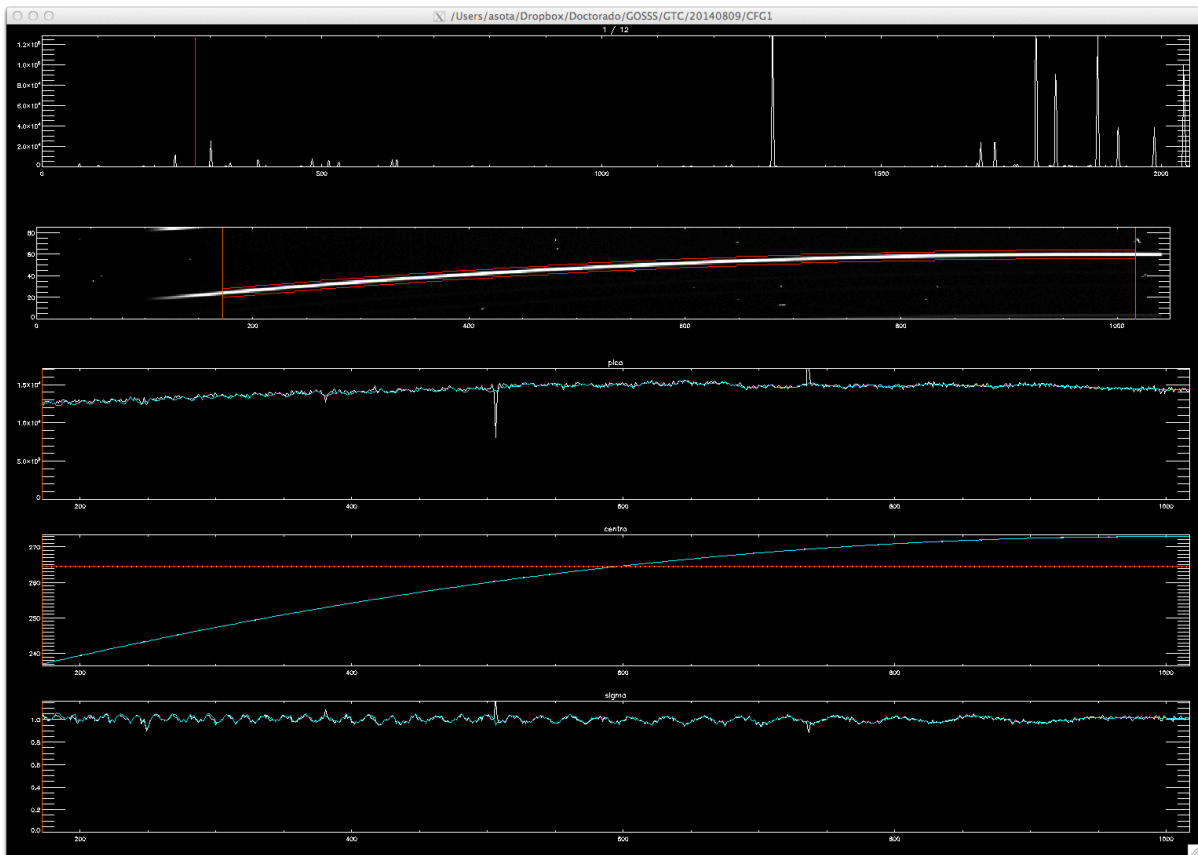


Figura 48. Ajuste de cada una de las líneas seleccionadas con un perfil gaussiano a lo largo de la dirección espacial.

Al finalizar este proceso, se muestra en una misma gráfica el centro de todas las líneas ajustadas y su sigma.

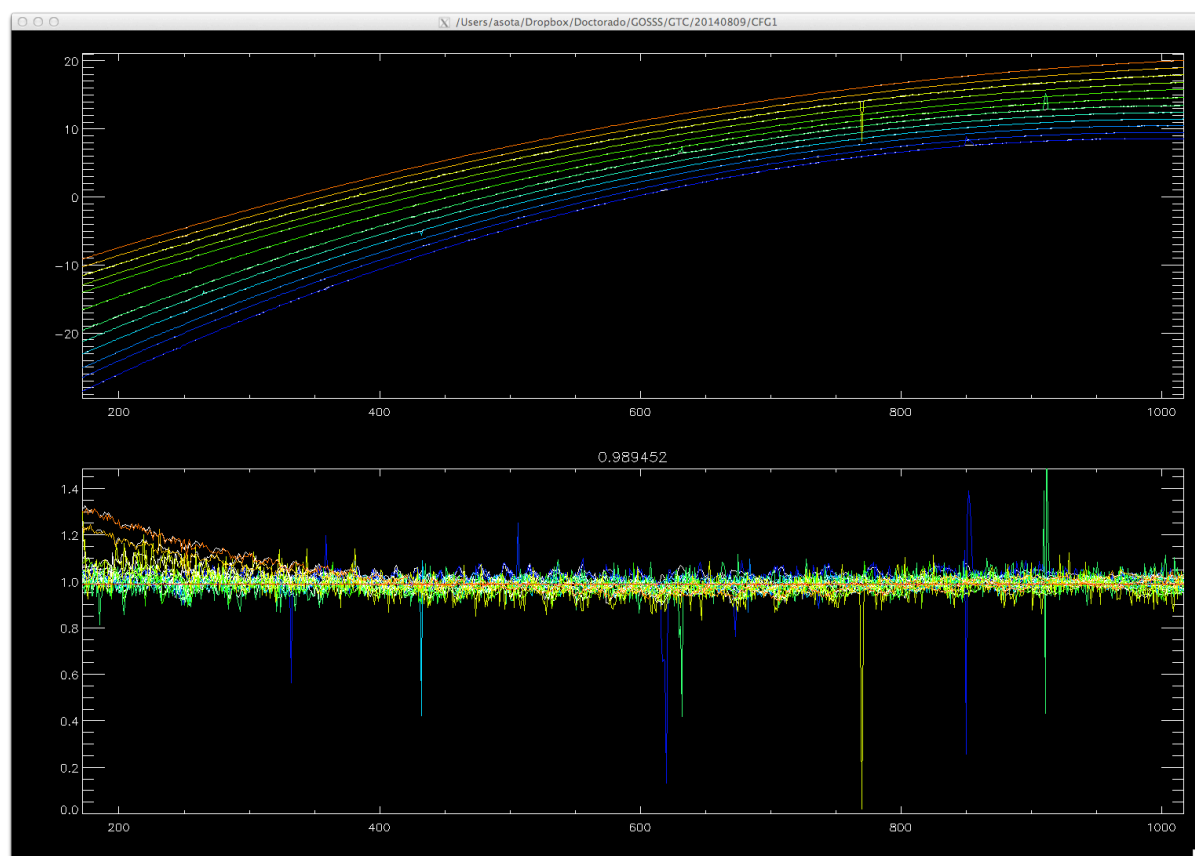


Figura 49. En la gráfica de arriba se muestra la curvatura de cada una de las líneas ajustadas, que en este caso es de hasta 30 píxeles entre los dos extremos de la rendija. La escala en el eje de ordenadas es arbitraria. En la gráfica de abajo se muestra el sigma de cada una de las líneas. En el caso ideal todas las líneas deberían tener el mismo sigma y ser además constante a lo largo de la dirección espacial. En este caso se ve que en la esquina superior izquierda de la imagen, el sigma de las líneas se desvía un poco, indicando un posible problema con el foco en esa parte de la CCD.

7.9. AL_ARCSOL

Este proceso hace el cálculo propiamente dicho de la curvatura de las imágenes usando los datos obtenidos en el proceso anterior. En primer lugar, se ajusta un polinomio de orden bajo (n_1) al centro de cada una de las líneas de emisión que se habían procesado. El orden del polinomio es diferente en cada observatorio, pero está en el rango entre 3 y 6. Después se va alineando el centro de las líneas de emisión de cada columna con los de la columna central, usando para el ajuste otro polinomio de orden bajo (n_2 , también entre 3 y 6). Todos los coeficientes de este segundo ajuste se van guardando en una matriz de datos, obteniendo al final de este proceso una función suave para cada uno de los coeficientes en función de las columnas (ver figura 49).

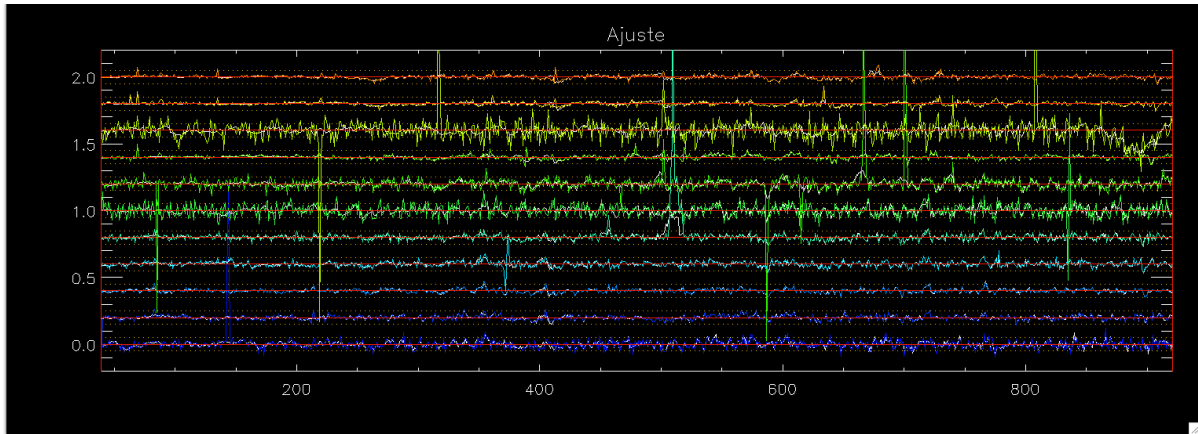


Figura 50. Líneas seleccionadas para el cálculo de la curvatura menos su ajuste por un polinomio de orden 4. La escala en el eje de ordenadas es arbitraria. Se aprecia que el ajuste es muy bueno salvo en alguna zona en los extremos (por ejemplo la línea amarilla en la derecha)

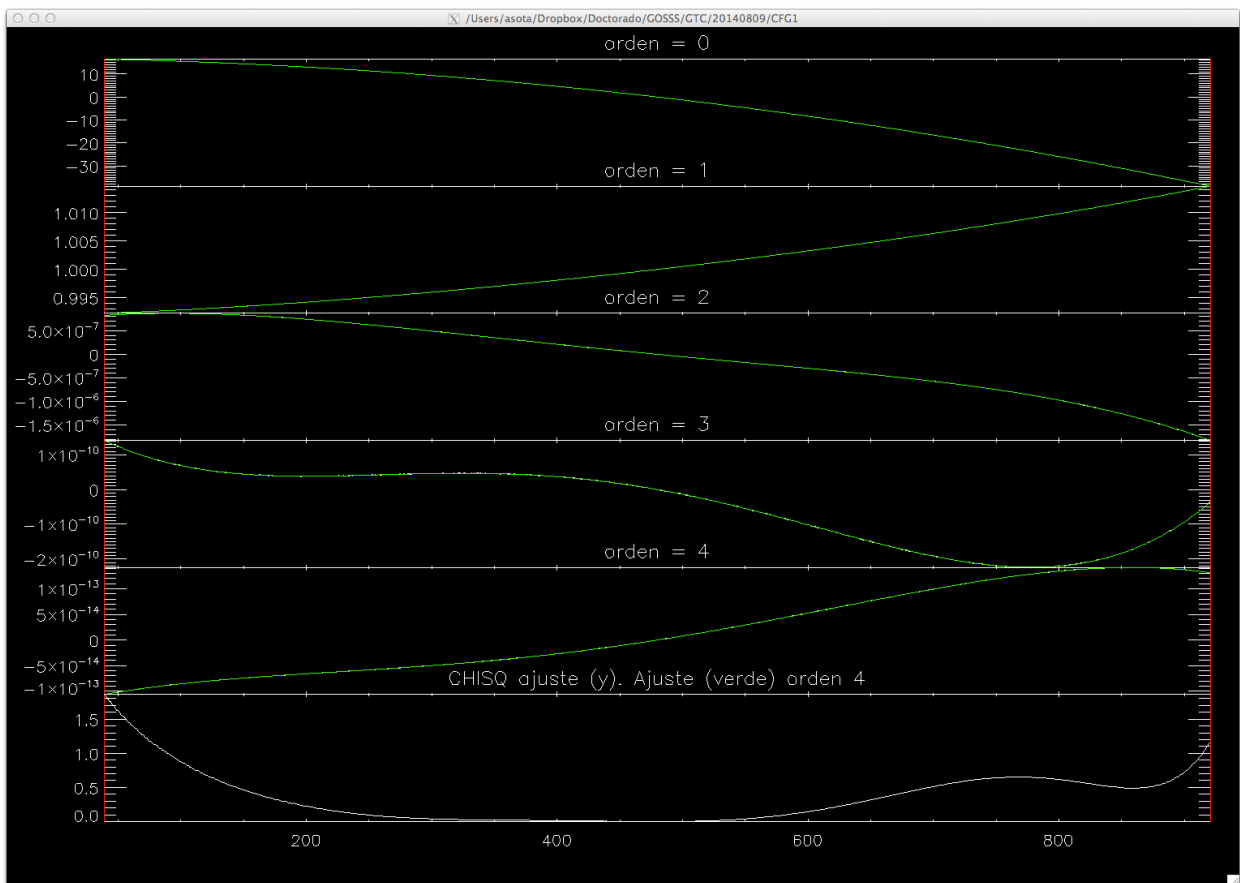


Figura 51. Coeficientes del ajuste de cada columna con la central. Como puede verse, para la columna central el segundo coeficiente (orden 1) es 1, y todos los demás son 0, dado que se está alineando esa columna con ella misma ($y=x$).

En el último paso de este proceso se ajusta cada uno de los coeficientes que se han ido obteniendo en el paso anterior por otro polinomio de orden bajo (n_3). Por lo que al final de todo este proceso se obtiene una matriz de tamaño $n_2 \times n_3$ donde se condensa toda la

información de la curvatura de los espectros en la CCD. En rutinas posteriores se usa solo esta matriz para corregir la curvatura de todas las imágenes tomadas durante una misma noche de observación.

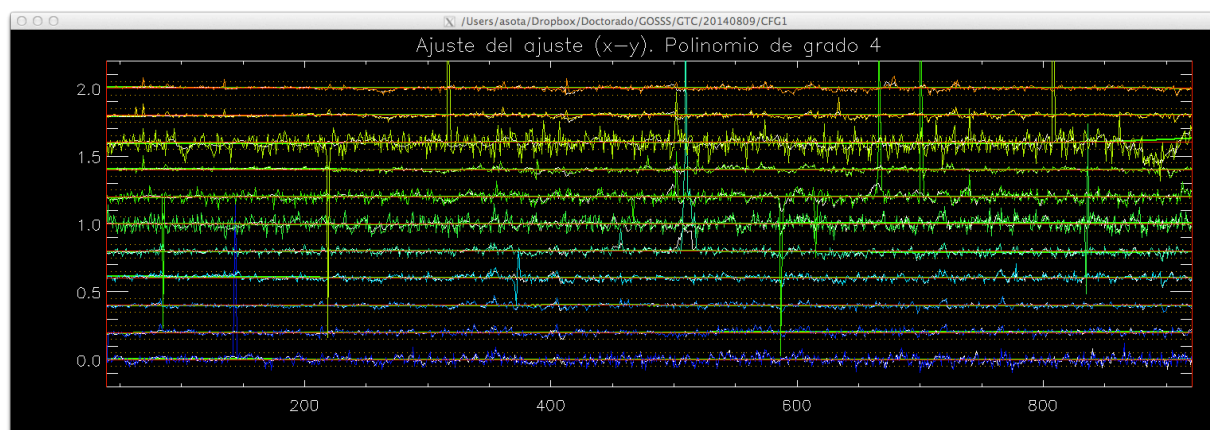


Figura 52. Una vez calculada la matriz de curvatura, se aplica la corrección a la imagen que se ha usado para obtenerla y se calcula de nuevo el centro de cada una de las líneas usadas. Como se puede ver, la corrección es muy buena.

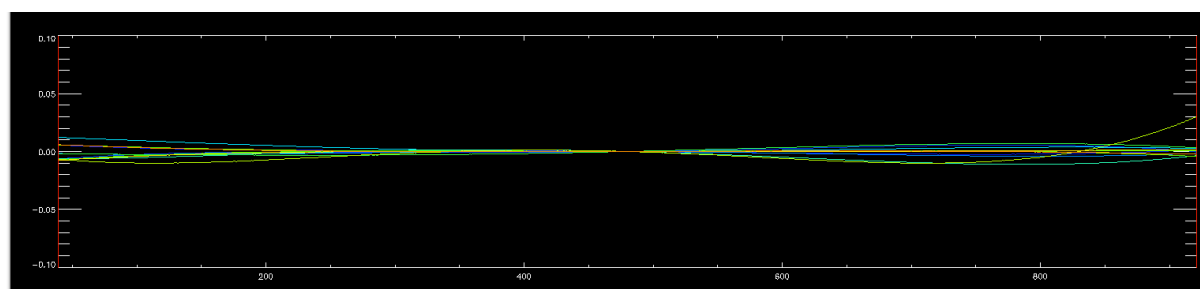


Figura 53. En esta gráfica se representa el ajuste de cada una de las líneas de la figura 49 superpuestas. El error cometido al corregir la curvatura es menor de 0.01 píxeles en la mayor parte de los casos.

7.10. AL_ARCAL

Este proceso se encarga de calcular la calibración en longitud de onda de los arcos tomados durante una noche de observación. En un primer paso, se corrige la curvatura de cada uno de los arcos y se colapsa en la dirección espacial para mejorar la señal/ruido del espectro. De esta manera se pueden identificar muchas más líneas de emisión. Después, el programa detecta todas las líneas de emisión que están por encima de un determinado nivel mínimo, y compara sus posiciones con listas de líneas definidas para cada observatorio. La comparación se hace usando las distancias relativas de cada línea con respecto a todas las demás, así que la rutina es capaz de identificar las líneas aunque en CWL cambie de una noche a otra o incluso si cambia la escala al cambiar de red de dispersión. Después se ajustan las líneas identificadas con un polinomio de orden 3 o 4 (dependiendo del observatorio) y se van guardando todos los parámetros en un fichero de texto para su posterior revisión. Una vez calculada la solución de la calibración en longitud de onda, se aplica a todos los espectros de los arcos y se calcula la diferencia entre la longitud de onda teórica y la medida en cada línea, encontrándose errores típicamente de unas pocas centésimas de Å. Cuando en alguna línea se encuentran errores

mayores (de alguna décima de Å), esa línea se elimina del cálculo de la solución para no empeorar la precisión.

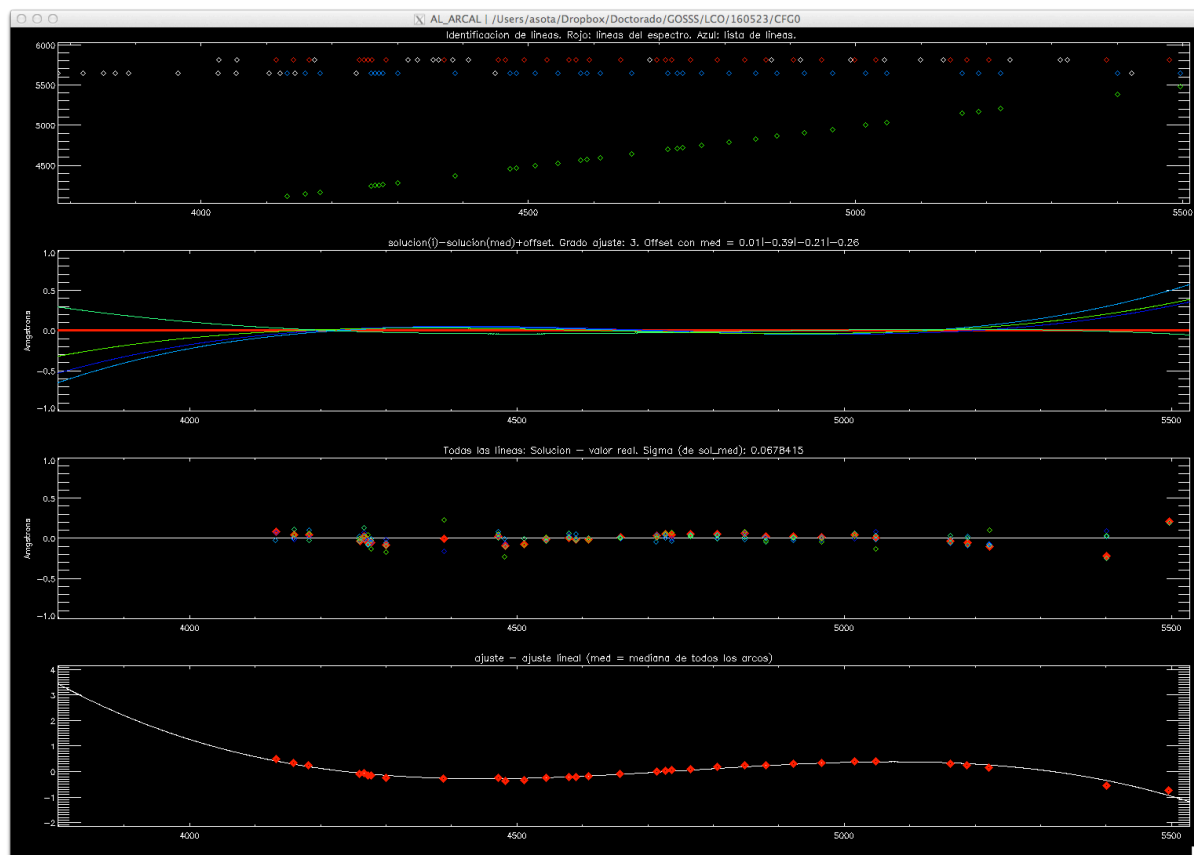


Figura 54. Primera gráfica: En la parte superior están las líneas identificadas en el espectro de la lámpara de calibración, y la lista de líneas con la que se compara. En colores rojo y azul están las líneas que coinciden en las dos listas. Los puntos en color verde representan la longitud de catálogo de cada línea (abscisas) en función del valor medido después de calibrar todo el espectro (ordenadas). Segunda gráfica: En esta gráfica se representa la diferencia entre la solución de cada uno de los arcos obtenidos durante esa misma noche de observación y la media entre todos. Se ve que la solución en todos los arcos es idéntica en la zona donde los arcos tienen bastantes líneas, pero divergen un poco en los extremos. Esto es debido a que en este caso no hay líneas en los extremos y la solución en esa zona es una extrapolación. Tercera gráfica: Diferencia entre el valor calculado y el valor de catálogo para todas las líneas de todos los arcos de una misma noche. Cuarta gráfica: Cálculo de la solución sobre una media de todos los arcos de una noche con un polinomio de orden bajo (3 en este caso) menos un ajuste lineal. Esta gráfica es igual que los puntos verdes de la primera, pero se le resta un ajuste lineal para ver mejor las variaciones.

7.11. AL_BIAS

Este proceso se encarga de combinar todos los BIAS que se han obtenido durante una noche de observación. Los BIAS habían sido identificados en la rutina AL_FTYPE y en un primer lugar se comprueba que el nivel de cuentas se similar en todos ellos. Si el nivel de cuentas en alguno es mucho mayor que en el resto, ese BIAS se descarta y no se usa para general el BIAS maestro (cuando la CCD ha agotado el N2 y empieza a calentarse, el nivel del BIAS puede subir mucho). En cada noche de observación se toman típicamente unos 10 BIAS, y una vez que se han seleccionado los válidos, estos se combinan. En una tabla de datos se va guardando para cada pixel el valor de la mediana de todos los BIAS de esa noche en ese punto y su desviación estándar. Los valores de la desviación estándar se usan para generar una máscara de puntos malos. Si la desviación estándar en un pixel es mayor de 4 veces la mediana de la desviación estándar de todos los pixeles, ese punto se marca como malo (esto suele pasar en columnas defectuosas de la CCD o en pixeles calientes). El resultado de este proceso es un fichero fits que contiene tanto el BIAS maestro como la máscara de puntos malos.

7.12. AL_FLAT

Este proceso es similar al anterior y se usa para combinar todos los FLAT que se han obtenido durante una noche de observación. Al igual que con los BIAS, los FLAT habían sido identificados en la rutina AL_FTYPE y también se combinan con una mediana. Los flats en espectroscopía son bastante diferentes a los que se usan en imagen directa, y en vez de ser relativamente planos, tienen un gradiente que a veces es muy pronunciado y corresponde a la SED (spectral energy distribution) de la lámpara halógena que se está usando. En algunas ocasiones hay FLAT que saturan en algunas zonas de la CCD, pero no se descartan para generar el FLAT maestro, puesto que mejoran bastante la señal/ruido en las zonas donde la señal es más baja, y simplemente se excluyen de la mediana las zonas donde el FLAT satura. En cada noche de observación se toman típicamente unos 10 FLAT. En un primer paso se le resta el BIAS maestro a cada uno de los FLAT de la noche, y se normalizan todos a un mismo valor. Después se genera una tabla de datos donde se va guardando el valor de la mediana de todos los flats y su desviación estándar en cada pixel al igual que se hace con los BIAS. El resultado de este proceso es un fichero fits que contiene tanto el FLAT maestro como la máscara de puntos malos.

Las siguientes rutinas que se ejecutan están destinadas a la reducción de los espectros.

7.13. AL_EXTST

Este es el principal programa del datoducto y es el que se encarga de reducir las imágenes y extraer los espectros de ellas. En un primer paso se cargan todas las imágenes y ficheros de calibración (BIAS, FLAT y solución de curvatura) y se combinan las máscaras del BIAS y FLAT en una sola. Se muestra en pantalla la imagen del FLAT maestro normalizada y corregida de la SED y se superponen unas líneas con las zonas válidas del FLAT y de la corrección de curvatura. Los espectros que queden fuera o en medio de los límites de las zonas válida no se extraen.

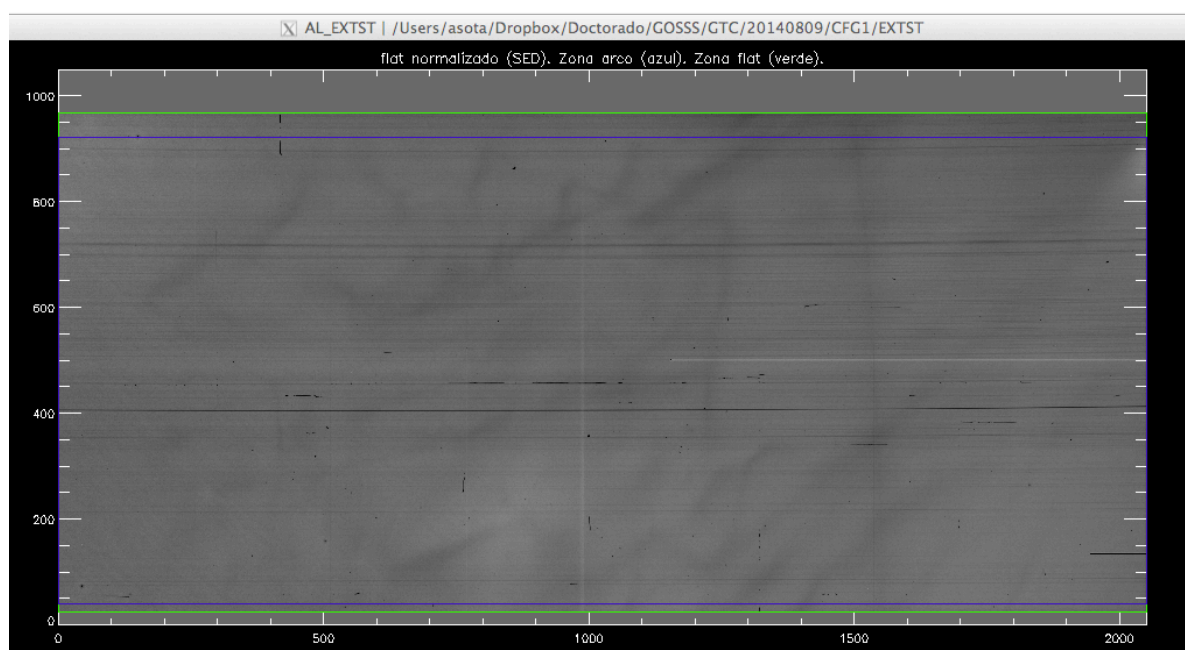


Figura 55. Imagen del FLAT maestro con las zona válida (zona sin viñeteo) delimitada por las líneas verdes y la zona donde se ha calculado la curvatura delimitada por las líneas azules.

En el siguiente paso se va procesando imagen por imagen. A cada imagen se le resta el BIAS, se divide por el FLAT y se aplican las máscaras correspondientes (en los píxeles malos se interpola el valor del flujo de los píxeles adyacentes). Después se aplica la corrección de curvatura y se identifican las zonas de la imagen donde no hay espectros de estrellas. Para calcular el espectro del cielo se hace una mediana en cada columna del espectro sólo en la zona donde no hay estrellas (ver figura 56). Con este espectro resultante se genera una imagen de un cielo sintético que es el que posteriormente se resta de las imágenes de los espectros de las estrellas. Cuando hay líneas nebulares hay que aplicar una corrección extra, puesto que estas no son uniformes a lo largo de la dirección espacial. Las líneas nebulares se identifican fácilmente viendo que columnas de la zona sin espectros de estrellas no son constantes. Una vez identificadas, se ajusta el perfil de la propia línea a una banda que la contiene, y el resultado se sustituye en la imagen del cielo sintético. Esta corrección funciona muy bien cuando el flujo de las líneas nebulares es igual o inferior al flujo del espectro de la estrella que se está procesando, y en el espectro final de la estrella no queda nada de contaminación nebular. Pero

cuando el flujo de la línea nebular es mucho mayor que el de la estrella, puede quedar un poco de contaminación en el espectro final de la estrella. Una vez que la imagen se ha rectificado de la curvatura y se le ha extraído el cielo, se detectan y corrigen los rayos cósmicos. En la zona donde no hay espectros de estrellas, se detectan los rayos cósmicos con un proceso de “sigma clipping” (píxeles que tienen un valor por encima de la mediana de todos los píxeles más 4 veces la desviación estándar). En la zona donde están los espectros de las estrellas no se puede aplicar el procedimiento anterior y se va ajustando la PSF del propio espectro a lo largo de la dirección espectral. Los píxeles que se alejan mucho del ajuste, se marcan también como rayos cósmicos.

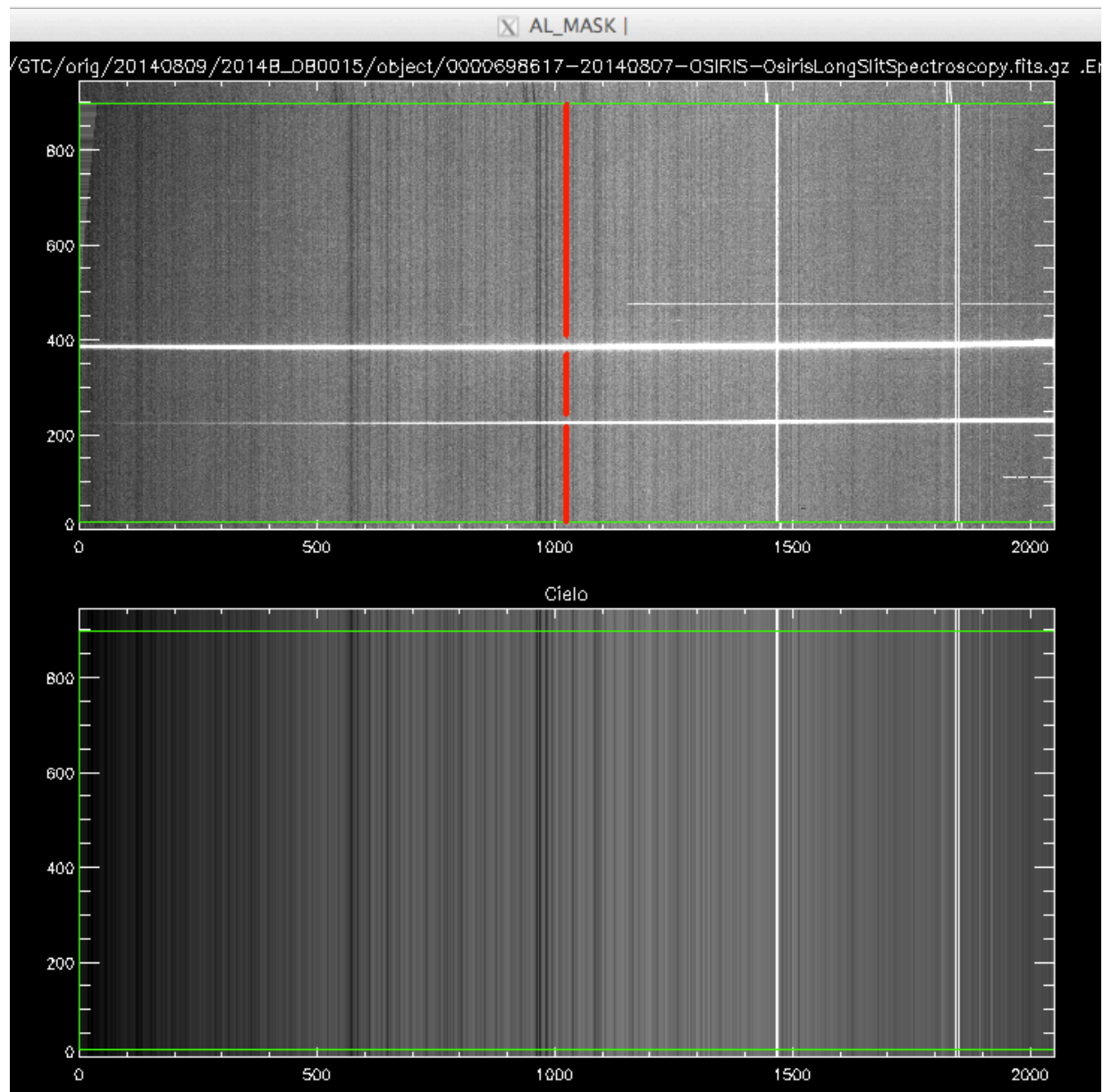


Figura 56. Cálculo del espectro del cielo en imágenes corregidas de curvatura. En el panel superior se identifica la zona donde no hay espectros de estrellas (línea roja). En el panel inferior está el cielo sintético que se ha generado.

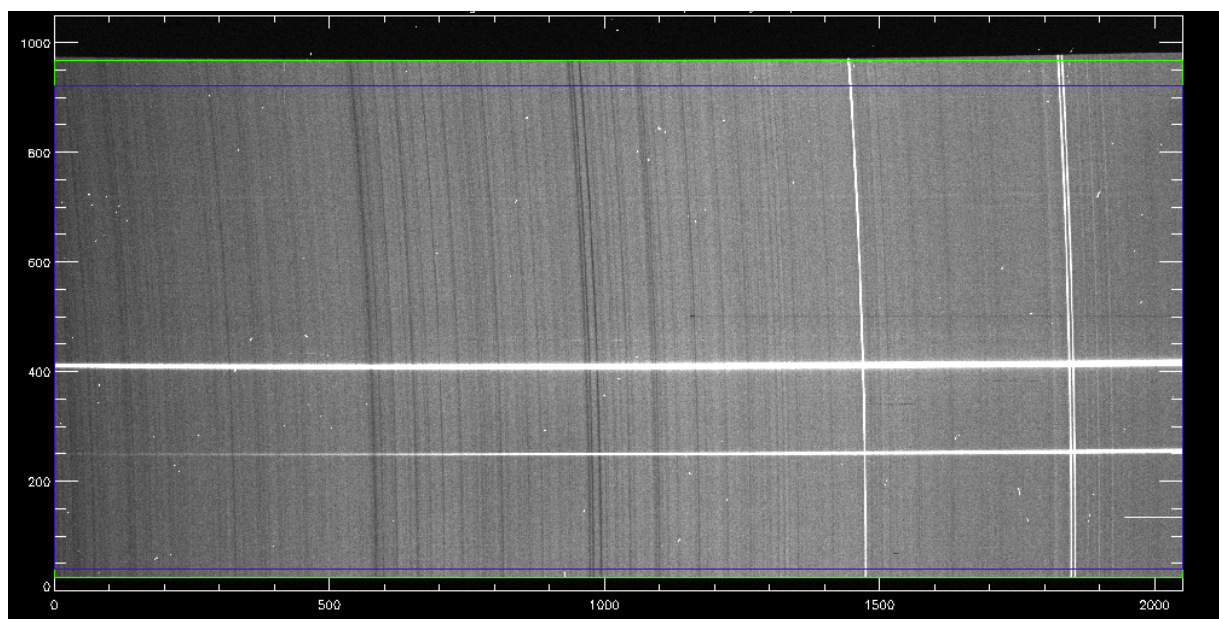


Figura 57. Imagen de un espectro corregida de BIAS y FLAT con sus máscaras correspondientes, pero sin aplicar la corrección de curvatura ni la máscara de rayos cósmicos.

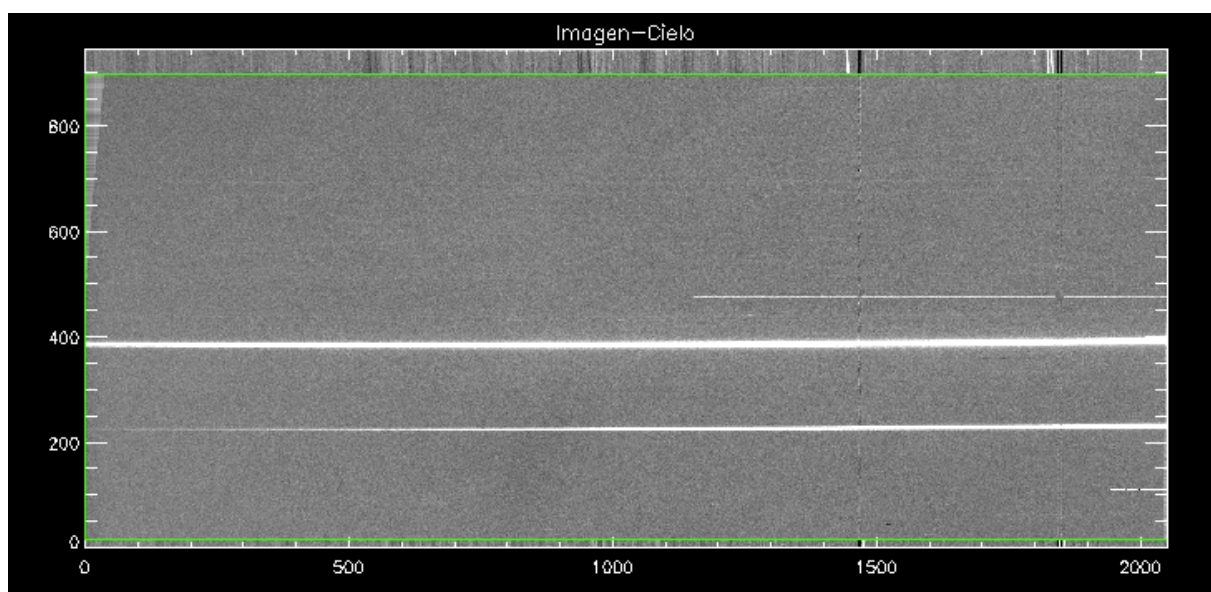


Figura 58. La misma imagen de la figura 57 pero con la corrección de curvatura, la sustracción de las líneas del cielo y la máscara de rayos cósmicos. Tanto las líneas del cielo como los rayos cósmicos quedan completamente eliminados. Esta es la imagen sobre la que se extraen los espectros.

A partir de este punto, se procesan tanto la imagen a la que se ha aplicado la máscara de cósmicos, como la imagen a la que no se le ha aplicado. Esto se hace para poder comparar los resultados en caso de duda. Por ejemplo, si un cósmico muy intenso incide dentro del espectro de una estrella de manera paralela, la corrección por la máscara puede ser errónea e introducir algún defecto.

En el siguiente paso, se selecciona una banda alrededor del espectro o espectros (si hay varias estrellas muy cercanas) que se quieren extraer. Las posiciones de la banda habían sido calculadas anteriormente en la rutina AL_PEAKS. Entonces el espectro (o espectros) se extraen de dos maneras diferentes:

1.- En el primer modo simplemente se colapsa toda la banda en la dirección espacial sumando el flujo total de cada línea para formar el espectro final. En el caso de que la banda contenga el espectro de más de una estrella, el espectro resultante será la suma de los espectros de todas las estrellas contenidas en la banda. En caso de que las líneas nebulares no se hayan podido corregir del todo en los procesos anteriores, es posible que en el espectro quede algo de contaminación por ellas.

2.- En el segundo modo se ajusta una o varias gaussianas a la banda a lo largo de la dirección espectral. Si solo hay una estrella, el perfil que se ajusta es $a+b*x+g(x)$ (donde $g(x)$ es el perfil gaussiano definido por el centro de la gaussiana, su sigma y su valor máximo). Si en la banda hay más de una estrella, el perfil que se ajusta es $a+b*x+g1(x)+g2(x)+...$ pero forzando a que el sigma de las diferentes gaussianas sea igual para todas las estrellas en cada lambda y que las distancias relativas también sean fijas. Si en la banda hay dos o más estrellas muy juntas y se conoce muy bien su separación (a partir de la astrometría en imagen directa), se puede fijar la distancia de la segunda y siguientes gaussianas con respecto a la primera para que la extracción sea más precisa. De esta manera se pueden extraer varios espectros de perfiles en los que solo se aprecia un máximo. Con este modo de extracción se corrigen mucho mejor los restos de las líneas nebulares que no se hayan podido eliminar bien en los pasos anteriores, puesto que su efecto se queda en los parámetros $a+b*x$ y no en $g(x)$. Dado que para nuestro proyecto no necesitamos calibrar en flujo, el espectro o espectros que se guardan en este modo son los máximos del ajuste por gaussianas. El valor medio del sigma se guarda en un fichero de texto para saber cuál ha sido el seeing en esas observaciones. Este modo falla cuando la estrella se ha movido a lo largo de la rendija, puesto que su PSF deja de ser gaussiana.

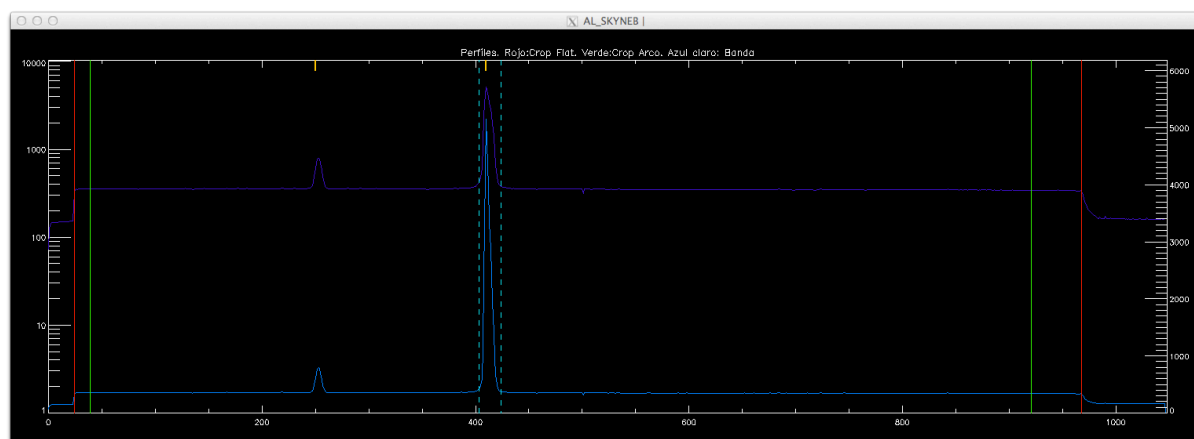


Figura 59. Perfiles de los espectros de las estrellas en las imágenes que se están procesando. Las líneas rojas marcan los límites de la zona sin viñeteo del FLAT, y las verdes la zona donde se ha calculado la curvatura.

Para combinar el espectro final se usa el primer modo de extracción cuando solo hay una estrella en la banda y las líneas nebulares se han corregido bien. El segundo modo se usa si en la banda hay más de una estrella y/o las líneas nebulares no se han corregido bien.

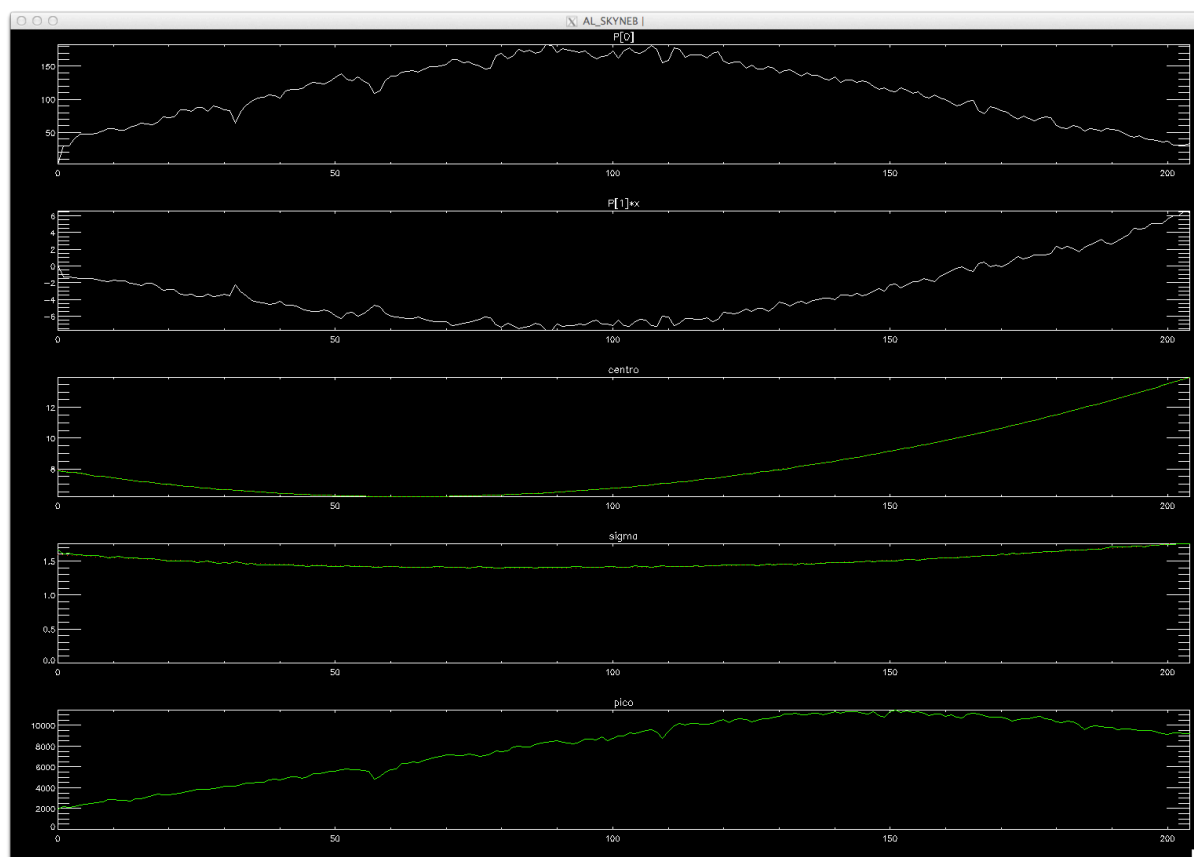


Figura 60. Parámetros del ajuste por gaussianas a una banda que solo contiene el espectro de una estrella. Los parámetros del ajuste son $a+b*x+g(x)$ donde $g(x)$ es la función gaussiana definida por su centro, sigma y máximo.

Todos los datos que se han ido generando en este proceso se guardan en un fichero fits, incluyendo también el espectro del cielo de cada una de imágenes. También se genera un fichero ps con varios gráficos para su posterior revisión.

7.14. AL_ALIGN

El siguiente proceso se encarga de alinear y combinar todos los espectros que se han observado de una misma estrella durante una noche de observación. Normalmente se suelen observar para cada estrella 3 o más espectros consecutivos desplazando un poco la estrella dentro de la rendija para poder combinarlos todos y corregir los posibles defectos del FLAT o rayos cósmicos que hayan quedado sin corregir en las rutinas de limpieza. Los espectros que hay de una misma estrella ya habían sido identificados por la rutina AL_PGRUP, por lo que ahora se cargan los espectros de la misma estrella ya extraídos por la rutina anterior. En un primer paso se elige el espectro que tenga mayor señal, y con un proceso iterativo se alinean y normalizan el resto de espectros a ese. Para ello, primero se divide el espectro que se está

alineando por el espectro de referencia, y el resultado se suaviza para disminuir el ruido. Después se multiplica el espectro que se está alineando por esa función (el espectro queda normalizado al de referencia) y se calcula la correlación cruzada con respecto al de referencia para calcular su desplazamiento. En el siguiente paso se desplaza el espectro que se quiere alinear por el valor calculado y se repite el procedimiento hasta que los valores convergen. De esta manera, todos los espectros de la misma estrella que se quieren combinar quedan alineados y con la misma SED. Los desplazamientos entre espectros consecutivos son típicamente de unas pocas décimas de pixel, pero en algunos casos (como en los espectros del OSN) pueden ser incluso superiores a un pixel. Con este proceso de alineamiento se pretende evitar que la resolución final del espectro resultante se degrade.

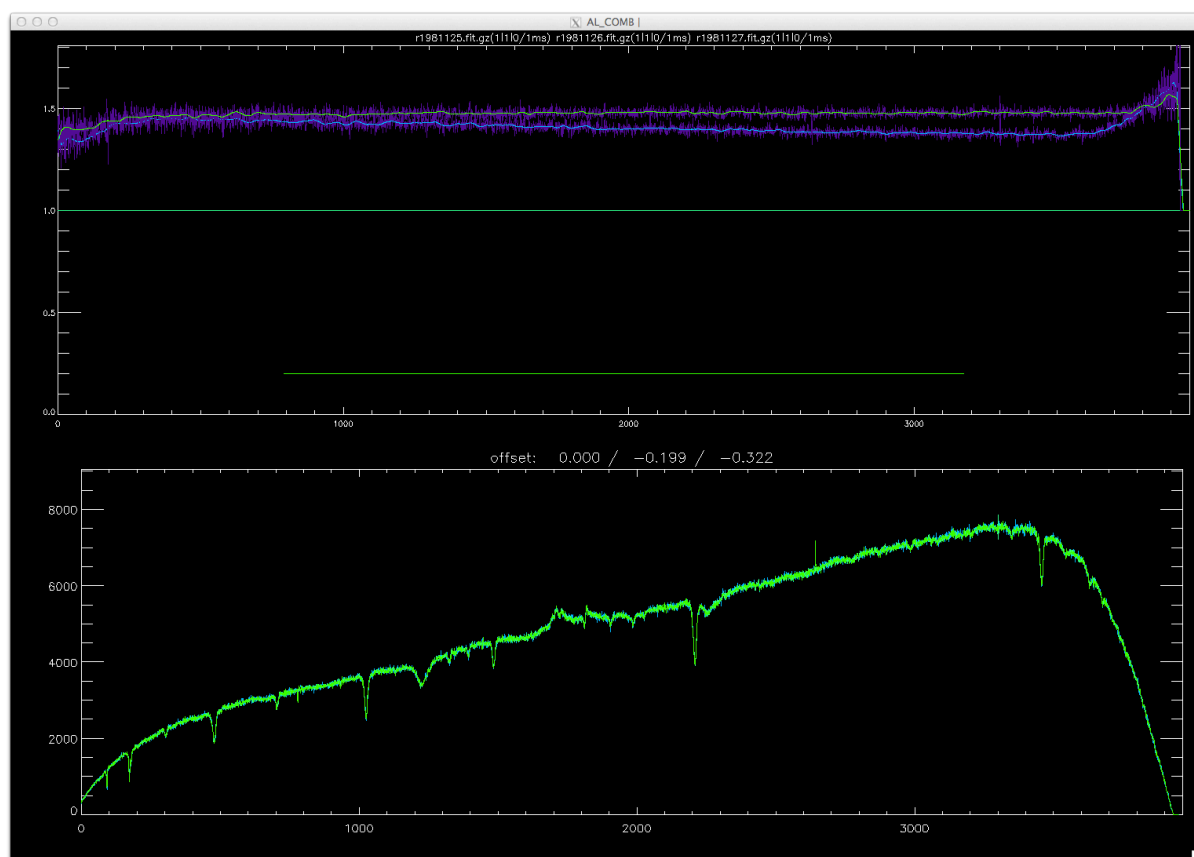


Figura 61. Proceso de alineamiento y normalización de los espectros de una misma estrella.

En la parte superior están las funciones (líneas suavizadas) por las que se multiplica cada espectro para que todos tengan la misma SED. En la parte inferior se muestran los tres espectros alineados y normalizados de la estrella que se está procesando.

Una vez que los espectros están alineados y normalizados se combinan de dos formas diferentes. En la primera, el espectro final se calcula con la mediana de todos los espectros que se han obtenido de esa estrella (por eso es necesario que la SED sea igual), y en la segunda se suma el flujo total de todos los espectros alineados. Al combinar con mediana se corrigen muy bien los posibles defectos que queden en cada uno de los espectros individuales (defectos del FLAT, rayos cósmicos), y al sumar el flujo de todos los espectros se obtiene una señal/ruido un poco mejor. Este proceso se repite 4 veces: con los espectros que se han extraído al colapsar la banda que los contiene, con los que se han extraído por el método del ajuste de gaussianas,

y en los dos casos tanto con la máscara de rayos cósmicos como sin ella. Siempre que haya 3 o más espectros para combinar, el usar la máscara de rayos cósmicos o no usarla no produce diferencias significativas en el espectro final. De la misma manera que con los espectros de las estrellas, también se alinean y combinan los espectros del cielo de cada una de las imágenes de esa secuencia.

Al finalizar este programa, se guardan en un fichero fits todos los espectros que se han generado para una única estrella.

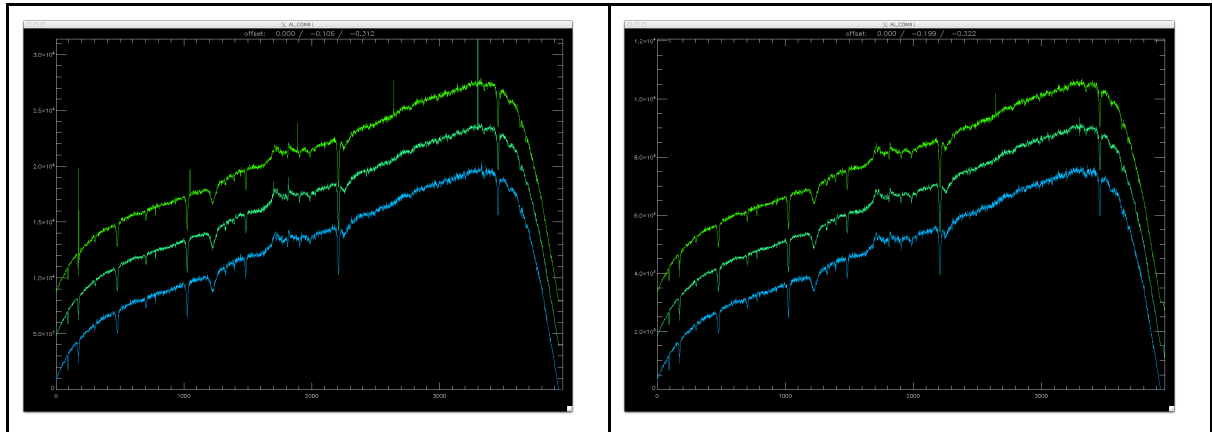


Figura 62. Espectros de la misma estrella alineados y normalizados (con un desplazamiento arbitrario para una mejor visualización). En la parte de la izquierda sin aplicar la máscara de rayos cósmicos, y en la parte de la derecha aplicando la máscara.

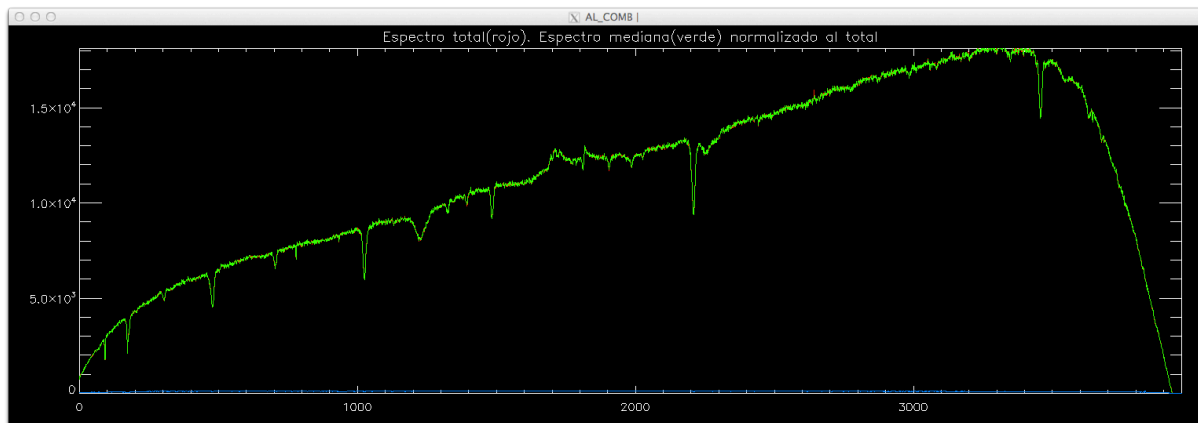


Figura 63. Espectro final resultante de combinar todos los espectros de la misma estrella. En color rojo está el espectro resultante de sumar todos los espectros individuales, y en color verde el espectro resultante de combinarlos con mediana. El espectro verde está normalizado al espectro rojo. Se ve como todos los defectos se corrigen bien en el espectro verde, quedando alguno pequeño en el rojo.

7.15. AL_EXTCAL

Este proceso en encarga de aplicar la calibración en longitud de onda y corregir el continuo del espectro. En el primer paso se calcula de manera automática el continuo del espectro. Para ello se identifican todas las líneas de absorción y emisión y se ajusta una función suave a la zona donde no hay líneas. Este proceso funciona bien en estrellas tempranas (O y B) donde hay zonas grandes del continuo sin líneas, pero da problemas con estrellas tardías con muchas líneas de absorción.

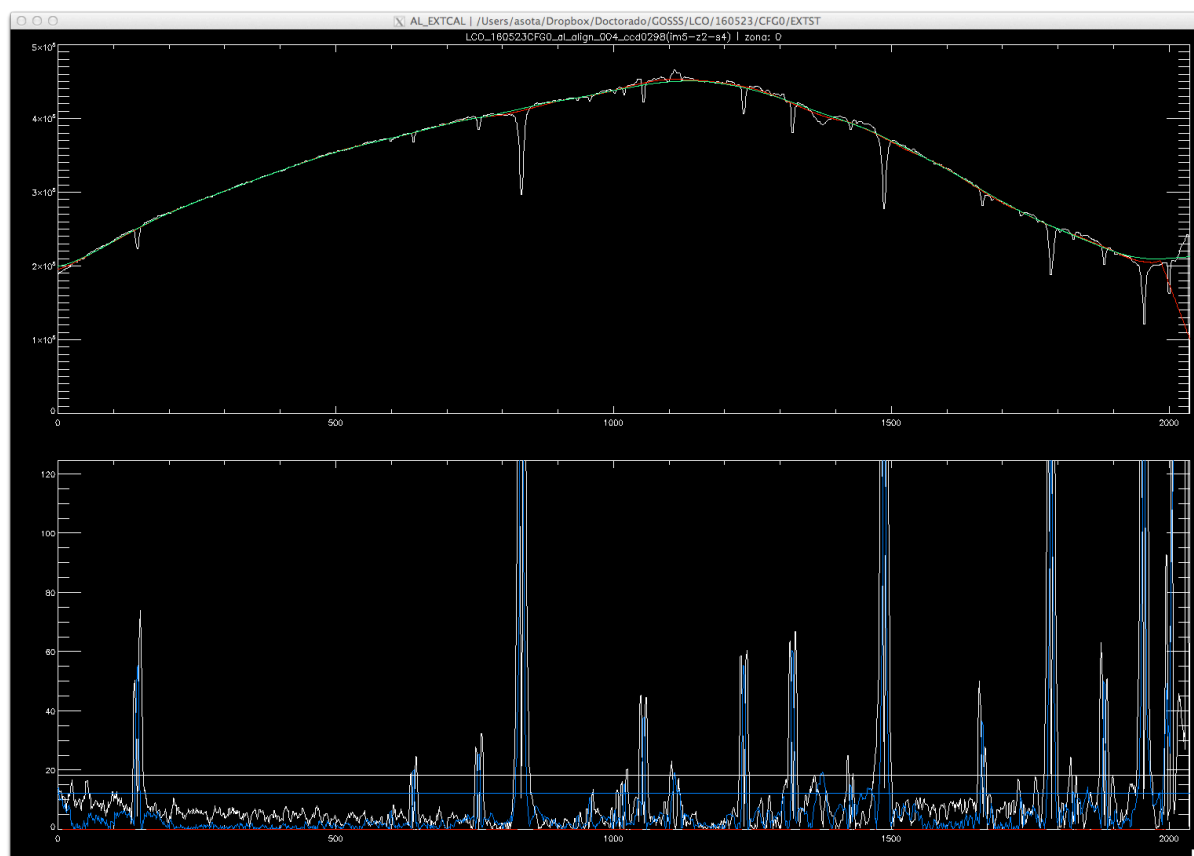


Figura 64. Cálculo del continuo del espectro. En la parte de abajo se divide el espectro por el mismo suavizado (con las líneas de absorción y emisión más anchas) y tomando el valor absoluto. Las zonas que quedan por debajo de un determinado nivel se considera como la zona del continuo sin líneas. En la parte de arriba se ajusta una función suave a la zona del continuo sin líneas.

Después se divide el espectro por este continuo y se aplica la solución de la calibración en longitud de onda que se ha obtenido en el programa AL_ARCAL. Se detectan las líneas más intensas de absorción y se identifican automáticamente a partir de su λ (suelen ser las líneas de H y de He). Cada una de esas líneas se ajusta a un perfil gaussiano para medir de manera precisa su centro y se calcula el offset que tiene con respecto a los valores teóricos. Los desplazamientos que se detectan son debidos al movimiento propio de la estrella y es necesario corregirlos para dejar la calibración en el propio sistema de referencia de la estrella. La corrección que se hace es relativista y es del tipo $\lambda = \lambda_0 \cdot (1 + v/c)$.

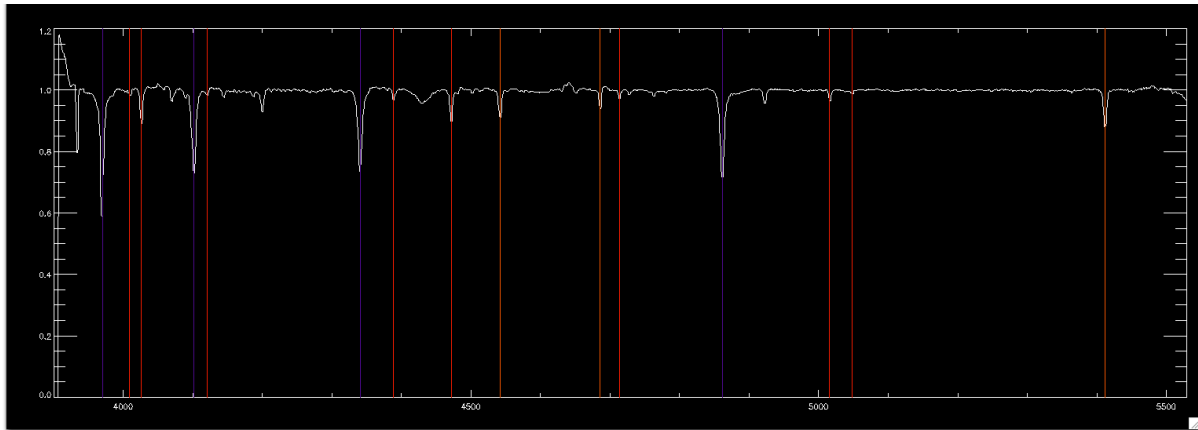


Figura 65. Una vez aplicada la calibración en longitud de onda de los arcos, se mide la posición de varias líneas de H y He y se calcula la velocidad del movimiento propio de la estrella para poder corregirlo.

En el último paso de este proceso, se manda el espectro calibrado a una rutina interactiva en el que el continuo se puede ajustar de una manera más precisa que en el modo automático.

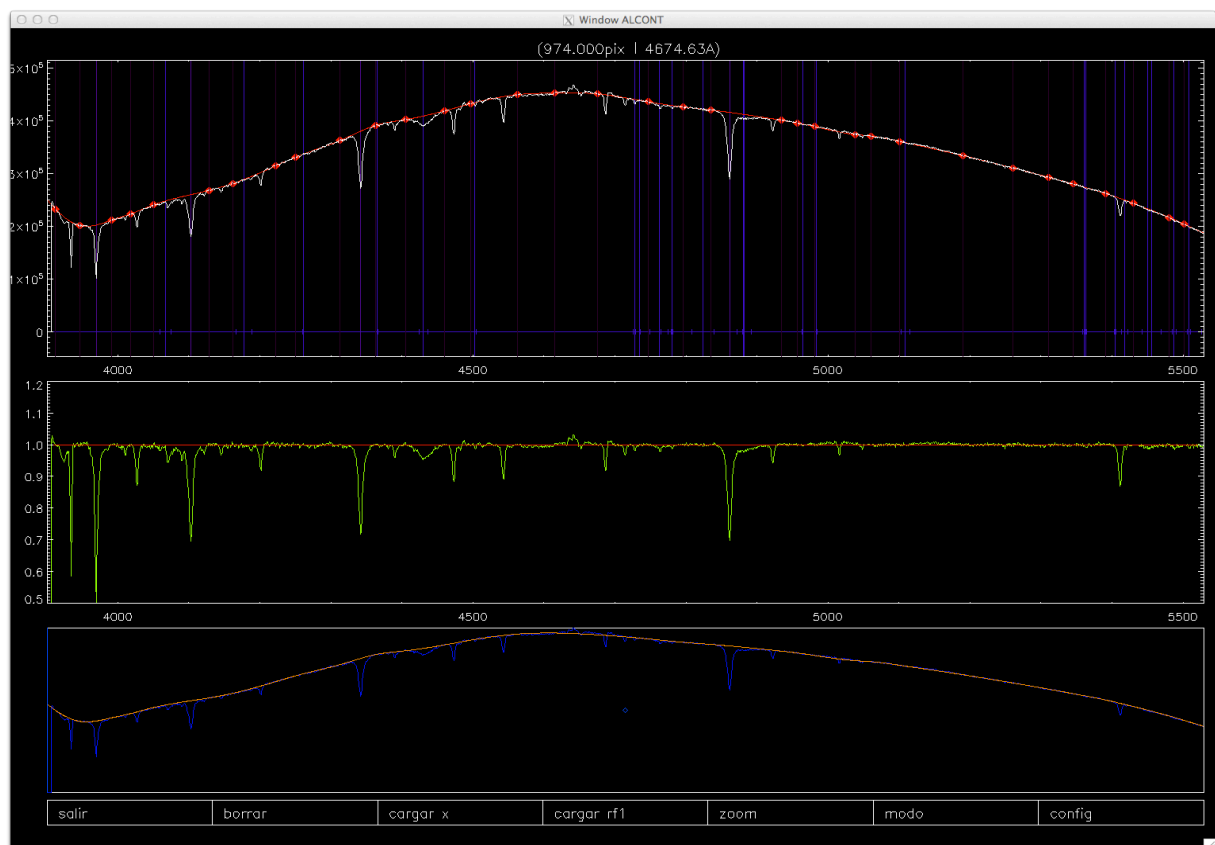


Figura 66. Programa para el ajuste manual del continuo. En programa tiene cargadas unas longitudes de onda donde no hay líneas en las estrellas de tipo O. Estas posiciones se ajustan al espectro de la estrella (puntos rojos en el panel superior) y a partir de ellos se genera un continuo sintético suave con un spline de orden 3. Los puntos de ajuste se pueden ir poniendo y quitando con el ratón para ajustar de la mejor manera posible el continuo.

Como resultado de este último ajuste del continuo, se obtiene un espectro con el continuo normalizado, calibrado en longitud de onda, y en el sistema de referencia de la propia estrella. Este es el espectro final de la estrella que se guarda en un fichero fits para su posterior análisis.

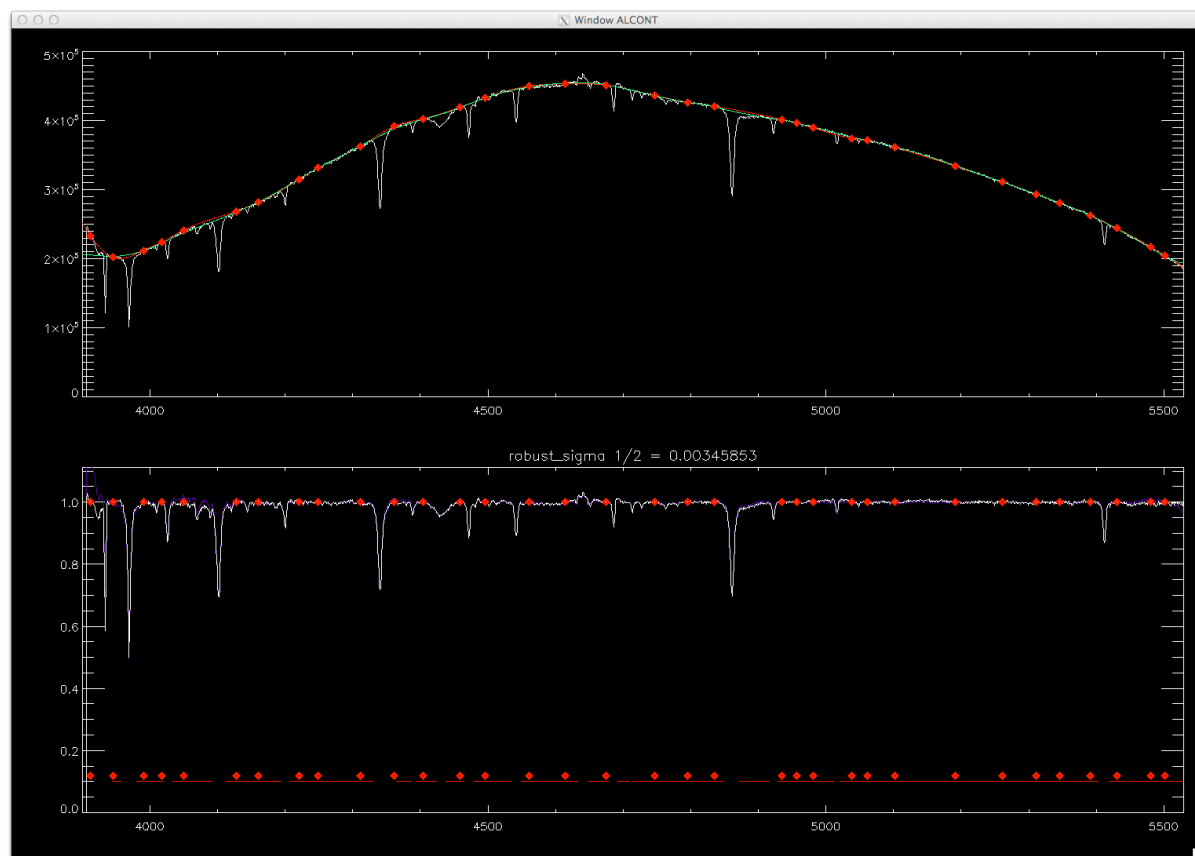


Figura 67. Panel superior: Espectro calibrado en longitud de onda, pero con el continuo sin normalizar. Superpuestos están el continuo automático (línea verde) y el continuo manual con sus puntos de anclaje (línea y puntos rojos). En el panel inferior está el espectro final normalizado por el continuo manual (espectro blanco) y el espectro normalizado por el continuo automático (espectro morado). En la parte inferior se muestran los puntos de anclaje para el continuo manual y las zonas de continuo para el cálculo del continuo automático.

Las siguientes rutinas que se ejecutan están destinadas a la generación de los ficheros de salida (espectros en formato fits y pdf) y la base de datos.

7.16. LAUNCH_AL_SP2PS

Los espectros que se han generado hasta este punto tienen un nombre de referencia, y aún no han sido identificadas con el nombre de la estrella a la que corresponde. Una vez que se han reducido todos los espectros de una noche de observación, se genera a mano un fichero de texto donde se pone la correspondencia entre el nombre interno de un determinado espectro con el número de referencia del catálogo GOSC que le corresponde. Después el programa va leyendo línea por línea este fichero de correspondencia y va generando el fichero fits definitivo con el nombre de la estrella a la que corresponde y una cabecera completa con toda la información de esa observación determinada. Las claves de la cabecera que contiene cada fichero fits son las siguientes:

| | | |
|-------|---------|---|
| OBSID | obsid | observation ID |
| NGOSS | ngos | GOS Number |
| BA001 | qualf | Quality flag |
| BA002 | proc | Processed flag (0/1) |
| BA003 | sel | Selected flag (0/1) |
| BA004 | date | Observation date in YYMMDD (Evening) |
| BA005 | MJD | Modified Julian Date |
| BA006 | obs | Observatory/telescope code |
| BA007 | mode | Spectral range and resolution |
| BA008 | SNR | S/N at central wavelength |
| BA009 | comaper | Companions in the aperture |
| BA010 | fname | File name |
| BA011 | HJD | Heliocent. Julian Date |
| BA012 | HCORR | Geo. to bar. corr. [km/s], +:mov. tow. s. |
| BA013 | OFFSP | Star reference system corr(LAM=LAM-OFFSP) |
| BA014 | SCORR | Ste. corr. applied [km/s], +:mov. away s. |
| BA015 | SSCORR | Ste. corr. uncertainty [km/s] |
| BA016 | VCORR | Ste. to bar. corr. [km/s], +:mov. tow. s. |
| EX001 | nid | Observation number of the night |
| EX002 | texpt | Total exposure time in s |
| EX003 | nexp | Number of individual exposures |
| EX004 | PA | Position angle in degrees (N=0, E=90) |
| EX005 | lres | Spectral resolution in Å |
| EX006 | rres | Spectral resolution as $R = l / \Delta l$ |
| EX007 | dl | Spectral pixel size in Å |
| EX008 | seeing | seeing in arcsec |
| EX009 | dx | Spatial pixel size in arcsec |
| EX010 | nsslit | Number of sep./det. targets in slit/image |
| EX011 | ntslit | Number of total targets in the slit/image |
| EX012 | RAtel | RA of the telescope (HH:MM:SS) |
| EX013 | dectel | Declination of the telescope (DD:MM:SS) |
| EX014 | amass | Mean air mass |
| EX015 | lmin | Minimum lambda in Å |
| EX016 | lmax | Maximum lambda in Å |

| | | |
|-------|----------|---|
| EX017 | ssid | ID num. within the slit/image (sep./det.) |
| EX018 | stid | ID num. within the slit/image (total) |
| EX019 | deconfl | Deconvolution flag (0/1) |
| EX020 | deconty | Deconvolution type (0/1/2/3) |
| EX021 | ifname | Internal file name |
| EX022 | ocomm | Observation comment |
| EX023 | aux | |
| EX024 | lneb | Nubular lines number |
| EX025 | nsat | Saturated pixels number (all images) |
| EX026 | object | Keyword Object. First image header |
| EX027 | dte | Processing date |
| EX028 | t(zs) | Typ: 0-Zone,1-Gaussian |
| EX029 | taj | Fit type: 0-splines,1-smooth |
| EX030 | gr | Group |
| EX031 | gra | Arc group |
| EX032 | arco | Arc name |
| EX033 | d | Distance in arcsec to previous star |
| EX034 | flux/t | Median(flux) / texp |
| EX035 | mag0 | Relative visual magnitude: $-2.5\log(\text{EX034})$ |
| EX036 | K1 | Keyword1 in obs.txt |
| EX037 | k2 | Keyword2 in obs.txt.LCO=PA |
| EX038 | k3 | Keyword3 in obs.txt.Type,Fit |
| EX039 | Nobs | Objet in obs.txt |
| EX040 | Cobs | Coment in obs.txt |
| EX041 | Dis-CT | Distance between GOSC coord. and Telescope |
| EX042 | Dis-CC | Dist. betw. stars from GOSC (with prev.) |
| EX043 | PA-CC | P.A. between stars from GOSC (with prev.) |
| EX044 | RA_CAL | RA calc. from first star with GOSC id |
| EX045 | DEC_CAL | Dec calc. from first star with GOSC id |
| GO001 | Bap | approximate B magnitude |
| GO002 | SC | Spectral classification in GOSC |
| GO003 | RAJ2000 | RA [HMS] from GOSC |
| GO004 | DEJ2000 | DEC [DMS] from GOSC |
| GO005 | comm | Comments |
| GO006 | minsep | Separation to neighbor with GOSC id |
| GO007 | posangsm | Position angle to neighbor with GOSC id |
| GO008 | neighbor | Neighbor with GOSC id |

El programa genera también un fichero de texto con una tabla que contiene la información que hay en las cabeceras de todas las imágenes y un fichero de Aladin con las posiciones de todas las estrellas que se han observado en una misma noche de observación. En los casos de espectros que no están en el catálogo GOSC, la posición de esa estrella se calcula a partir de los datos del ángulo de posición de la rendija y la distancia de ese espectro a los otros que hay en la misma rendija. De esa manera es fácil identificar en Aladin las estrellas que no tienen número de GOSC. El fichero con la tabla que contiene la información que hay en las cabeceras de todas las imágenes es muy útil para poder verificar que la identificación de cada espectro es realmente el que le corresponde y no se comete ningún error.

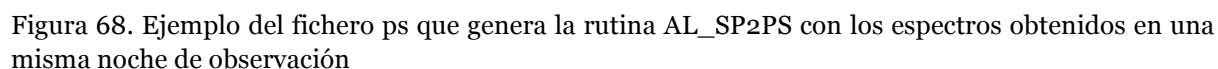
| OBSID | \|NGOSS | \|EX041 | \|EX033 | \|EX042 | \|EX004\| | \|EX043\| | \|EX034 | \|EX035\| | GO001 |
|-----------------------|-----------------|----------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| obsid | ngos | Dis-CT | d | Dis-CC | PA | PA-CC | flux/t | mag0 | Bap |
| 160525_L_B2500_001_01 | 287.44-00.59_03 | 00:01:16 | 0.00 | | 288.0 | | 187 | 10.3 | 8.7 |
| 160525_L_B2500_001_02 | 287.44-00.59_02 | 00:01:18 | 1.99 | 1.99 | 288.0 | 294.0 | 221 | 10.1 | 8.6 |
| 160525_L_B2500_001_03 | 287.44-00.59_01 | 00:01:30 | 12.62 | 12.56 | 288.0 | 288.0 | 439 | 9.4 | 8.2 |
| 160525_L_B2500_002_01 | 287.60-00.74_01 | 00:01:03 | 0.00 | | 228.2 | | 83 | 11.2 | 8.8 |
| 160525_L_B2500_002_02 | 287.60-00.75_01 | 00:01:04 | 50.76 | 50.88 | 228.2 | 229.2 | 45 | 11.9 | 11.3 |
| 160525_L_B2500_002_03 | 287.59-00.77_01 | 00:01:57 | 76.78 | 76.77 | 228.2 | 228.2 | 37 | 12.1 | 13.5 |

Tabla 22. Parte del fichero de texto con la cabecera de todas las imágenes que se usa para verificar que la identificación de cada espectro es correcta. Cada separación corresponde a las estrellas de una misma rendija.

Para ello lo primero que se comprueba es que la posición de la estrella o estrellas que se han identificado es muy cercana a la posición del telescopio. En la columna “Dis-CT” en la tabla 22 se muestra esa distancia en grados, y si es superior al tamaño de la rendija, puede indicar una identificación errónea. Después se comprueba que las distancias relativas entre las estrellas que entran en la rendija y el ángulo de posición de esta, coinciden con las distancias relativas de las estrellas identificadas y en ángulo de posición entre ellas. En la columna “d” está la distancia relativa de las estrellas que hay en la rendija, y en la columna “Dis-CC” está la distancia entre las posiciones del catálogo. En este caso se ve que la coincidencia es muy precisa, con errores de décimas de segundo de arco. La columna “PA” es el ángulo de la rendija y la columna “PA-CC” es el ángulo entre las estrellas del catálogo. Como se ve en la tabla 22, en este caso la coincidencia es muy buena también. Cuando el ángulo en la columna “PA-CC” es el complementario del ángulo de la rendija pero las distancias relativas en los espectros de la rendija y sus posiciones del catálogo si son las mismas, implica que en la identificación se ha confundido una estrella por otra (este es el error más frecuente). La última comprobación compara el flujo relativo de las estrellas de los espectros de la rendija (columnas “flux/t” y “mag₀”), es decir, que estrella es la más brillante y cuál la más débil, y los valores de catálogo (columna “B_{ap}”). Todos estos valores se revisan cuidadosamente para evitar que alguna identificación no sea correcta.

7.17. AL_SP2PS

Una vez que se han generado los ficheros fits con los espectros finales y se ha comprobado que la identificación es correcta, se cargan todos los espectros de una noche de observación y se mandan a la rutina AL_SP2PS. Este programa genera un fichero ps con todos los espectros de esa noche para poder hacer una inspección rápida sobre todos ellos e identificar posibles errores en los procesos de reducción. En el fichero ps con los espectros están marcadas muchas de las líneas de interés de las estrellas O y se puede ver si la calibración en longitud de onda es correcta y precisa. También se comprueba de manera rápida si la rectificación del continuo es correcta y precisa en todos los espectros y si ha quedado algún resto de líneas nebulares en alguno de los espectros. En caso de encontrar algún problema en alguno de los espectros procesados, el datoducto se puede ejecutar solo en las rutinas necesarias para corregir ese defecto y generar nuevamente el espectro final de la estrella que se está mejorando.



Como se ha mencionado en secciones anteriores, el catálogo GOSC tiene dos versiones en la web: una pública con los datos que ya han sido publicados en los diferentes artículos del proyecto y otra privada con los datos de las últimas clasificaciones que se han ido realizando y que aún no han sido publicadas. Y aparte de es los dos catálogos, hay una base de datos privada que contiene toda la información sobre las observaciones que se han ido realizando a lo largo de los años (GOSO).

229